



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR DE  
POLIETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR  
DE ESTIÉRCOL DE GANADO PORCINO”**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**AUTOR:** ROLANDO DANIEL CHISAG TOALA

**DIRECTOR:** Ing. M. C. JULIO USCA MÉNDEZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

**© 2019, Rolando Daniel Chisag Toala**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, ROLANDO DANIEL CHISAG TOALA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**ROLANDO DANIEL CHISAG TOALA**  
**180415576-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ZOOTECNICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Proyecto de Investigación **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR DE POLIETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO PORCINO**, realizado por el señor: **ROLANDO DANIEL CHISAG TOALA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Ms.C. Marco Bolívar Fiallos López.



2019-03-28

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. MsC. Julio Enrique Usca Méndez.



2019-03-28

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ing. Ms.C. Luis Gerardo Flores Mancheno, PhD.



2019-03-28

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el presente trabajo a toda mi familia por su apoyo incondicional, comprensión, cariño y el ejemplo que imparten hacia mi persona; lo cual me ha permitido alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

Rolando.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por la vida que me permitió disfrutar de esta maravillosa etapa y culminarla con alegría llena de excelentes experiencias. A mis padres quienes me brindaron todo su apoyo y afecto durante esta etapa, a mis hermanos por el infinito apoyo incondicional y cariño que formaron parte de este logro importante al brindar su apego y comprensión. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas de la gloriosa Facultad de Ciencias Pecuaria, en especial a la carrera de Zootecnia por ser una fuente del saber y formar profesionales de excelencia académica. A mi director Ing. M.C. Julio Enrique Usca Méndez y asesor Ing. M.C. PhD. Luis Gerardo Flores Mancheno por el apoyo científico e incondicional durante el desarrollo del presente trabajo.

Rolando.

## TABLA DE CONTENIDO

|                         |      |
|-------------------------|------|
| TABLA DE CONTENIDO..... | vii  |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xi   |
| RESUMEN.....            | xiii |
| SUMMARY .....           | xiv  |
| INTRODUCCIÓN .....      | 1    |

## CAPITULO I

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | MARCO TEORICO REFERENCIAL .....                                | 4  |
| 1.1   | Criterios para considerar en el diseño de un biodigestor ..... | 4  |
| 1.1.1 | <i>Factores humanos</i> .....                                  | 4  |
| 1.1.2 | <i>Factores biológicos</i> .....                               | 4  |
| 1.1.3 | <i>Factores físicos</i> .....                                  | 4  |
| 1.1.4 | <i>Factores de construcción</i> .....                          | 5  |
| 1.1.5 | <i>Factores utilitarios</i> .....                              | 5  |
| 1.2   | Biodigestores o bio reactores.....                             | 5  |
| 1.2.1 | <i>Modo discontinuo o batch</i> .....                          | 7  |
| 1.2.2 | <i>Modo semi continuo o fed-batch</i> .....                    | 8  |
| 1.2.3 | <i>Modo continuo</i> .....                                     | 8  |
| 1.3   | Tipos de biodigestores.....                                    | 8  |
| 1.3.1 | <i>Pozos sépticos</i> .....                                    | 8  |
| 1.3.2 | <i>Biodigestor del domo flotante (Indio)</i> .....             | 9  |
| 1.3.3 | <i>Biodigestor de domo fijo (Chino)</i> .....                  | 9  |
| 1.3.4 | <i>Biodigestor de estructura flexible</i> .....                | 10 |
| 1.4   | Etapas de la biodigestión .....                                | 10 |
| 1.4.1 | <i>Fase de Hidrólisis</i> .....                                | 10 |
| 1.4.2 | <i>Fase de Acidificación</i> .....                             | 11 |
| 1.4.3 | <i>Fase Acetogénica</i> .....                                  | 11 |
| 1.4.4 | <i>Fase Metanogénica</i> .....                                 | 12 |
| 1.5   | Equilibrio bacteriano y factores limitantes.....               | 12 |
| 1.5.1 | <i>Temperatura</i> .....                                       | 13 |
| 1.5.2 | <i>pH y alcalinidad</i> .....                                  | 13 |
| 1.5.3 | <i>Nutrientes</i> .....  | 14 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.5.4 | <i>Agitación.....</i>   | 14 |
| 1.5.5 | <i>Presión de Operación.....</i>  | 14 |
| 1.5.6 | <i>Destrucción Patógena.....</i>  | 15 |
| 1.5.7 | <i>El calor y el color .....</i>  | 15 |
| 1.6   | <b>Excretas porcinas .....</b>  | 16 |
| 1.6.1 | <i>Qué son las excretas.....</i>  | 16 |
| 1.6.2 | <i>Composición de las excretas .....</i>  | 16 |
| 1.6.3 | <i>Factor alimento .....</i>  | 16 |
| 1.6.4 | <i>Factor animal.....</i>   | 16 |
| 1.6.5 | <i>Manejo e instalaciones.....</i>  | 17 |
| 1.6.6 | <i>Volumen de excretas producidas .....</i>   | 18 |
| 1.6.7 | <i>Manejo de las excretas de granjas porcícolas .....</i>   | 18 |
| 1.7   | <b>Tratamientos físicos .....</b>   | 20 |
| 1.7.1 | <i>Separación de sólidos y líquidos .....</i>   | 20 |
| 1.7.2 | <i>Deshidratación al sol.....</i>   | 21 |
| 1.7.3 | <i>Secado artificial.....</i>   | 21 |
| 1.7.4 | <i>Tratamiento químico .....</i>  | 21 |
| 1.8   | <b>Tratamientos biológicos.....</b>   | 21 |
| 1.8.1 | <i>Uso de lagunas de almacenaje y fermentación .....</i>  | 21 |
| 1.8.2 | <i>Digestores anaeróbicos .....</i>   | 22 |
| 1.8.3 | <i>Ensilaje .....</i>   | 22 |
| 1.8.4 | <i>Composteo .....</i>  | 24 |
| 1.8.5 | <i>Vermicomposta.....</i>   | 24 |
| 1.8.6 | <i>Como desecho de los animales.....</i>  | 25 |
| 1.8.7 | <i>Como materia prima para procesos de reciclaje .....</i>  | 25 |
| 1.9   | <b>Investigaciones realizadas sobre producción de biogás con estiércol de diferentes especies .....</b> | 25 |

## CAPITULO II

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.    | <b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>                       | 28 |
| 2.1   | <b>Localización y duración del experimento .....</b> | 28 |
| 2.2   | <b>Unidades experimentales .....</b>                 | 28 |
| 2.3   | <b>Materiales, equipos e instalaciones .....</b>     | 29 |
| 2.3.1 | <i>Materiales .....</i>                              | 29 |
| 2.3.2 | <i>Instalaciones.....</i>                            | 29 |



|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>2.4</b>   | <b>Mediciones experimentales.....</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>2.4.1</b> | <b><i>Medidas de campo .....</i></b>  | <b>29</b> |
| <b>2.4.2</b> | <b><i>Laboratorio .....</i></b>   | <b>30</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Análisis estadísticos y pruebas de significancia.....</b>                | <b>30</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>Procedimiento experimental .....</b>                                     | <b>31</b> |
| <b>2.6.1</b> | <b><i>Descripción del experimento.....</i></b>                              | <b>31</b> |
| <b>2.6.2</b> | <b><i>Cavado y preparación de la zanja.....</i></b>                         | <b>31</b> |
| <b>2.6.3</b> | <b><i>Preparación de la cama y aislación de la zanja .....</i></b>          | <b>32</b> |
| <b>2.6.4</b> | <b><i>Construcción del cuerpo del biodigestor .....</i></b>                 | <b>32</b> |
| <b>2.6.5</b> | <b><i>Doble capa de polietileno .....</i></b>                               | <b>33</b> |
| <b>2.6.6</b> | <b><i>Instalación de la salida del biogás .....</i></b>                     | <b>33</b> |
| <b>2.6.7</b> | <b><i>Instalación de los tubos de entrada y salida.....</i></b>             | <b>33</b> |
| <b>2.6.8</b> | <b><i>Fijación de las alturas de los tubos de entrada y salida.....</i></b> | <b>34</b> |
| <b>2.7</b>   | <b>Metodología de evaluación .....</b>                                      | <b>34</b> |
| <b>2.7.1</b> | <b><i>Producción de estiércol .....</i></b>                                 | <b>34</b> |
| <b>2.7.2</b> | <b><i>Capacidad de llenado .....</i></b>                                    | <b>34</b> |
| <b>2.7.3</b> | <b><i>Tiempo de retención.....</i></b>                                      | <b>35</b> |
| <b>2.7.4</b> | <b><i>Laboratorio.....</i></b>  | <b>35</b> |

### **CAPITULO III**

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>3.</b>  | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>   | <b>36</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Cantidad diaria de estiércol que ingresa al biodigestor.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Fluente producido del biodigestor .....</b>   | <b>39</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Capacidad total y tiempo de llenado del biodigestor .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Caracterización de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del<br/>estiércol porcino .....</b> | <b>42</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Análisis económico .....</b>  | <b>43</b> |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>CONCLUSIONES.....</b> | <b>45</b> |
|--------------------------|-----------|

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>RECOMENDACIONES.....</b> | <b>46</b> |
|-----------------------------|-----------|

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabla 1-1:</b>  | Sistemas utilizados en la biodigestión.....   | 7  |
| <b>Tabla 2-1:</b>  | Composición nutritiva de excretas de porcino, en base a materia seca.....                           | 17 |
| <b>Tabla 3-1:</b>  | Volumen de materia excretas de acuerdo a la etapa fisiológica.....                                  | 18 |
| <b>Tabla 4-2:</b>  | Condiciones meteorológicas de la zona.....  | 28 |
| <b>Tabla 5-3:</b>  | Producción de estiércol en kilogramos.....  | 36 |
| <b>Tabla 6-3:</b>  | Producción de estiércol en litros.....  | 37 |
| <b>Tabla 7-3:</b>  | Efluente producido.....   | 40 |
| <b>Tabla 8-3:</b>  | Capacidad de llenado del biodigestor.....   | 41 |
| <b>Tabla 9-3:</b>  | Caracterización de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del<br>estiércol porcino..... | 43 |
| <b>Tabla 10-3:</b> | Costos de la construcción del biodigestor.....  | 44 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Gráfico 1-3.</b> | Producción de estiércol diaria (kg).....  | 37 |
| <b>Gráfico 2-3.</b> | Producción de estiércol diaria (l).....   | 39 |
| <b>Gráfico 3-3.</b> | Capacidad de llenado del biodigestor..... | 42 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PRODUCCIÓN DIARIA DE ESTIÉRCOL

**ANEXO B:** VOLUMEN DE ESTIÉRCOL PRODUCIDO.

**ANEXO C:** VOLUMEN DE EFLUENTES PRODUCIDOS.

**ANEXO D:** CAPACIDAD DEL BIODIGESTOR.

**ANEXO E:** PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL ESTIÉRCOL PORCINO.

## RESUMEN

Se diseñó y construyó un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado porcino con las siguientes medidas: base 1 metros, altura 1.5 metros y largo 12 metros, se utilizó dos mangas de polietileno donde ingresó el estiércol, además se realizó la excavación y construcción de las paredes laterales con hormigón; mientras que para los tanques de captación, salida del material, ductos tanto de captación del estiércol como de distribución del gas se empleó tubos pvc; la cubierta fue construida con hojas de zinc y un soporte de madera. Se evaluó la cantidad diaria de estiércol producido durante 80 días en kilogramos y se aplicó una estadística descriptiva (media, moda, desviación estándar, histogramas de frecuencia). La capacidad y tiempo de llenado se ha calculado en base a la producción de excretas y su volumen, mientras que para los parámetros físico-químicos del estiércol enviamos una muestra al laboratorio y se determinó lo siguiente: la producción media de estiércol fue de 152,21 kg/día y un total de 6088,22 kg durante 80 días de evaluación, coliformes fecales y totales fueron mayores 1000000 Unidades Formadoras de Colonia, 1,05 % de nitrógeno total, 0,88 % de fósforo, 5684,4 mg/kg de potasio; 36,98 mg/kg de manganeso; 789,97 mg/kg de hierro y una humedad del 21,04 %, la capacidad fue de 10800 litros y tardo 21 días en llenarse completamente, mientras que su costo ascendió a 875,40 dólares. Se concluye que un biodigestor es una alternativa viable para el manejo de desechos orgánicos que afectan el medioambiente. Se recomienda realizar estudios direccionadas a la optimización sobre el uso del biogás y biosol para dar un costo bajo de producción a través de la utilización como fuente de energía alternativa y fertilizantes orgánicos.

**Palabras clave:** <INGENIERIA ZOOTECNICA>, <PORCINOS (*Sus scrofa*)>, <ESTIÉRCOL>, <DIGESTIÓN ANAEROBIA>, <BIODIGESTOR, BIOGAS>, <ENERGÍA RENOVABLE>

REVISADO

10 FEB 2020

Ing. Jhonatan Parreño Uquillas, MB.  
ANALISTA DE BIBLIOTECA

## SUMMARY

A polyethylene biodigester was designed and built to obtain biogas from pig manure with the following measures: base 1 meter, height 1.5 meters, and length 12 meters. Two polyethylene sleeves were used where manure entered. Besides, excavation and construction of the side walls with concrete; while PVC pipes were used for the collection and material removal, ducts for both manure collection and gas distribution, the roof was built with zinc sheets and wooden support. The daily amount of manure produced during eighty days in kilograms was evaluated and a descriptive statistic (mean, mode, standard deviation, frequency histograms) was applied. The filling capacity and time were calculated based on the production of excreta and its volume, while for the physicochemical parameters of manure we sent a sample to the laboratory and the following was determined, the average manure production was 152, 21 kg/day and a total of 6088.22 kg during eighty days of evaluation, fecal and total coliforms were greater than 1000000 Colony Formation Units, 1.05% of total nitrogen, 0.88% phosphorus, 5684.4 mg/kg of potassium; 36.98 mg/kg of manganese, 789.97 mg/kg of iron, and a humidity of 21.04%; the capacity was 10800 liters and took twenty days to fill, while its cost amounted to \$ 875.40. It is concluded that a biodigester is a viable alternative for the management of organic wastes that affect the environment. It is recommended to conduct studies aimed at optimizing the use of biogas and bio sol to give a low cost of production through the use as an alternative energy source and organic fertilizers.

**Keywords:** <ZOOTECHNICAL ENGINEERING>, <PIGS (*Sus scrofa*)>, <MANURE>, <ANAEROBIC DIGESTION>, <BIODIGESTER, BIOGAS>, <RENEWABLE ENERGY>



## INTRODUCCIÓN

El aumento de la productividad pecuaria es una fuerza impulsora del desarrollo económico y social, cuando la productividad tambalea, las fuentes de ingreso se pierden, los vínculos de la sociedad se quiebran y aumenta la movilidad de la sociedad. La actividad agrícola requiere de diferentes elementos para su desarrollo: suelo fértil, agua, semillas, abonos, pesticidas y mano de obra, entre otros.

Una de las formas de mantener un ambiente sano es saber reusar los diferentes componentes orgánicos dentro de la producción agropecuaria; como cultivadores, deben considerarse tanto los riesgos ambientales como los de seguridad alimentaria al planificar la aplicación del estiércol. Las prácticas de gestión de estiércol disminuyen el impacto ambiental negativo, tales como la eliminación de residuos y olores, así como también reducen los riesgos de contaminación con patógenos humanos que pudieran encontrarse en el estiércol.

Los problemas actuales para implementar el esquema de desarrollo sostenible en la agricultura se relacionan principalmente con las dificultades conceptuales y con la falta de metodologías operacionales. La agricultura sostenible abarca varios ámbitos; como la preservación de recursos naturales, las tecnologías limpias, las tecnologías de bajo costo con el mínimo uso de insumos industriales, cultivos orgánicos, etc.

Dado que hay diversidad de acciones ejecutables en el sector agropecuario, se ha observado que tanto suelo como agua mayoritariamente están contaminados por los residuos orgánicos próximos a estos, entonces se han convertido en un factor de riesgo para los diferentes recursos naturales que se relacionan directamente con esta actividad, ya que al no contar con el manejo y disposición final adecuada de estos residuos, dichos recursos se ven directamente afectados, y por ende afecta a todo ser humano cerca a estos espacios.

Es por ello que se considera una alternativa viable (tecnología limpia), para un correcto manejo de los desechos que genera la producción agropecuaria.

De esto, se forma la alternativa de un manejo ambiental, principalmente de los residuos que produce la actividad ganadera (estiércol de porcino), apoyando así al desarrollo de La Granja Porcina Condensan, creando una alternativa (biodigestor), para la producción de energías renovables y fertilizantes orgánicos que reduzca los costos por consumo de servicios básicos y

fertilizantes químicos respectivamente dentro de dicho lugar.

Una de las soluciones capaces de ayudar a resolver en parte esta situación son los Biodigestores, las que pueden operar a partir de casi toda la materia orgánica, especialmente de residuos agrícolas y basuras, así como de desechos de animales y humanos.

La problemática de las zonas productoras está relacionada al uso de combustibles fósiles para cocinar, emanar calefacción y producir energía, la preocupación comienza con el costo del gas licuado de petróleo GLP. También se encuentra la escasez de leña, elevados costos de electricidad y las consecuencias que puede tener el usar y cocinar con leña, especialmente en la salud de las mujeres, niñas y niños, quienes suelen permanecer más en la cocina.

El GLP tiene un costo alto, por lo que muchas personas no tienen acceso al uso del gas. Existe una gran cantidad de residuos animales que se generan en el país y dentro de estos se encuentra el estiércol de cerdo, que al igual que la problemática de las zonas rurales está relacionada al uso de combustibles fósiles para cocinar, la preocupación comienza con el costo del gas licuado de petróleo GLP. También se encuentra la escasez de leña y las consecuencias que puede tener el usar y cocinar con leña, especialmente en la salud de las mujeres, niñas y niños, quienes suelen permanecer más en la cocina.

El GLP tiene un costo alto, por lo que muchas personas no tienen acceso al uso del gas. Existe una gran cantidad de residuos animales que se generan en el país y dentro de estos se encuentra el estiércol de cerdo, que al igual que

Esta investigación se realizará debido a que el diseño y manejo de un biodigestor puede generar un gas combustible (biogás), que se aprovecha en cocción de alimentos, calefacción de lechones, combustible en el funcionamiento de motores. También reduce la generación de olores ofensivos o desagradables. Así como mejora la salud y la ecología de los alrededores de la comunidad. Reduce el uso de costosos y contaminantes fertilizantes químicos. Al disponer adecuadamente del estiércol de los animales se minimizan los riesgos a la salud.

Su costo de montaje es relativamente bajo y la inversión se recupera rápidamente con la venta o aprovechamiento de sub-producto. La crianza y manejo mejorado de los cerdos y el uso del biodigestor contribuyen a ahorrar dinero y ayudan en la limpieza y bienestar ambiental.

Por lo mencionado anteriormente en la presente investigación, se planteó los siguientes objetivos:



- Determinar la cantidad diaria de estiércol que ingresa al biodigestor.
- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del estiércol de ganado porcino que se genera en la Granja Porcina Condezan.
- Determinar la capacidad total y tiempo de llenado del biodigestor.

## **CAPITULO I**

### **1. MARCO TEORICO REFERENCIAL**

#### **1.1 Criterios para considerar en el diseño de un biodigestor**

Los siguientes son los aspectos a tener en cuenta: el diseño, planificación y construcción de un biodigestor (Hashimoto *et al.*, 2009: p.25).

##### **1.1.1 Factores humanos**

- Idiosincrasia.
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.
- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

##### **1.1.2 Factores biológicos**

Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas (Hashimoto *et al.*, 2009: p.25).

##### **1.1.3 Factores físicos**

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi - urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.
- Vías de acceso.
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica (Hashimoto *et al.*, 2009: p.25).

#### **1.1.4 Factores de construcción**

Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo - cemento, sillico - calcáreo), planchas prefabricadas, ferro cemento, concreto, módulos prefabricados (Hazen, 2010: p.17).

#### **1.1.5 Factores utilitarios**

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m<sup>3</sup> / digestor; si es mediano de 12 a 45 m<sup>3</sup> digestor y si es grande de 45 a 100 m<sup>3</sup> / digestor.

Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento del pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por último los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores (Hazen, T. 2010: p.18).

Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal (Hazen, 2010: p.18).

### **1.2 Biodigestores o bio reactores**

En ocasiones este sistema puede llegar a ser herméticamente cerrado, por dentro del cual se deposita material orgánico como excremento y desechos vegetales. Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno. Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros), a la salida del reactor (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

El proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos (ausencia de oxígeno) en los excrementos que al actuar en el material orgánico lo transforman en biogás y fertilizante. El biogás es un excelente combustible y puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, etc. El fertilizante, llamado biol, inicialmente se consideraba un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la mayor importancia que el biogás, debido a que provee a las familias de un fertilizante natural, ya que por el tratamiento anaeróbico los malos olores son eliminados, por ello mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

Por ser un sistema sencillo uno de los beneficios de los Biodigestores o biorreactores es el costo, ya que su instalación y material son de fácil acceso, saber utilizarlo representa también un costo minoritario, es fácil de instalar, su mantenimiento es sencillo y también genera un gasto menor. No requieren mano de obra a tiempo completa y los únicos suministros operativos que se necesitan son la materia orgánica y el agua (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

Cualquier persona con una cantidad apropiada de materia orgánica, disponibilidad de espacio y agua (como familias agrícolas y ganaderas), pueden aprovechar el estiércol y la vegetación para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado. La realización de un biodigestor o biorreactor se convierten en una muy buena solución sanitaria, ya que el estiércol y la vegetación en descomposición acumulada cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y vectores que desaparecerán cuando estos sean introducidos diariamente en el biodigestor (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres y niños, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o los costos elevados que tendrían que pagar por un tanque de GLP (si tuvieran acceso a él). La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

Son tres los límites básicos de los Biodigestores: la disponibilidad de agua para hacer la mezcla con el estiércol que será introducida en el biodigestor, la cantidad de ganado que se posea y la apropiación de la tecnología por parte de la familia (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

Según a las investigaciones de tipo tecnológico con respecto al mejoramiento y manejo de los biodigestores, se han tomado varios factores para mejorarlos, entre estos: la utilización del gas, las características del material a ser digerido (materia orgánica) y las exigencias que hoy en día

piden a nivel de descontaminación (reducción de residuos, mal olor, etc.), tomando en cuenta costo-inversión-beneficio (Chungandro *et al.*, 2010: p.25).

Los diferentes tipos de Biodigestores, desde los más sencillos y de bajo costo hasta los de última generación, reactores de alta eficiencia y costos elevados (tabla 1-1).

**Tabla 1-1:** Sistemas utilizados en la biodigestión

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Carga                   | Sistema batch<br>Sistema continuo o semi-continuo  |
| Intensidad de la mezcla | Mezcla completa<br>Mezcla parcial o mala   |
| Manejo del sustrato     | Contacto anaerobio<br>U.a.s.b (upflow anaerobic sludge blunket)<br>Lecho fluidizado<br>Filtro anaerobico una etapa |
| Manejo bioquímico       | Dos etapas   |

Fuente: Lara e Hidalgo (2011)

Los modelos más usados o que más se han difundido son los de Carga, ya que se caracterizan principalmente por la forma en que el sustrato alimenta al tanque. A continuación, se describió cada uno de ellos.

Un biodigestor o biorreactor es un contenedor o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, estos son recipientes en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aerobio o anaerobio (Monar y Martínez, 2013: p.59).

### **1.2.1 Modo discontinuo o batch**

El crecimiento de microorganismos en batch se refiere a que las células se cultivan en un recipiente con una concentración inicial, sin que esta sea alterada por nutrientes adicionales o el lavado, por lo que el volumen permanece constante y sólo las condiciones ambientales del medio (pH, temperatura, velocidad de agitación, etc.) son controladas por el operador. El proceso finaliza cuando todo el sustrato es consumido por la biomasa. Esta forma de cultivo es simple y se utiliza extensamente tanto en laboratorio como a escala industrial (Aparcana y Jansen, 2008: p.41).

### **1.2.2      *Modo semi continuo o fed-batch***

En un cultivo semi continuo o fed - batch, los nutrientes son alimentados al biorreactor de forma continua o semi continuo, mientras que no hay efluente en el sistema. Según sea el objetivo de la operación, la adición intermitente del sustrato mejora la productividad de la fermentación manteniendo baja la concentración del sustrato. Un proceso de este tipo está restringido por la capacidad volumétrica del reactor (Aparcana y Jansen, 2008: p.41).

### **1.2.3      *Modo continuo***

Un cultivo continuo consiste en alimentar nutrientes y retirar productos continuamente de un biodigestor. Bajo ciertas condiciones el cultivo puede alcanzar un estado estacionario, donde no existe variación con el tiempo del volumen del biodigestor. De esta manera se puede utilizar para producir sustancias biológicas a condiciones óptimas y para estudios fisiológicos (Aparcana y Jansen, 2008: p.41).

## **1.3          Tipos de biodigestores**

Hay muchos tipos de plantas del biogás, pero los más comunes son el dosel flotante (indio) y el domo fijo (chino). La aceptabilidad pobre de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos (Robles. 2000: p.33).

### **1.3.1      *Pozos sépticos***

Es el más antiguo y sencillo digestor anaerobio que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico (Robles. 2000: p.33).

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación (Robles. 2000: p.33).

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano,

es necesario hacer un tratamiento químico con Polímeros a esta agua a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica (Robles. 2000: p.33).

### ***1.3.2 Biodigestor del domo flotante (Indio)***

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero, pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central (Robles. 2000: p.33).

La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi continuamente a través de una tubería de entrada (Robles. 2000: p.33).

### ***1.3.3 Biodigestor de domo fijo (Chino)***

Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado.

Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1,5 m de agua (Food and Agriculture Organization. 2000: p.5).

Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente, pero desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China (Food and Agriculture Organization. 2000: p.5).

Esta instalación tiene como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático (Food and Agriculture Organization. 2000: p.5).

### **1.3.4 Biodigestor de estructura flexible**

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta, hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno, pero ellos demostraron ser relativamente costoso. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio (Food and Agriculture Organization. 2000: p.5).

Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales (Clark, 2005: p.24).

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma (Clark, 2005: p.24).

## **1.4 Etapas de la biodigestión**

Dentro del biodigestor existen varios procesos, los cuales son realizados por bacterias anaerobias esto quiere decir que viven en ausencia de oxígeno, otra característica es que son muy sensibles a los cambios ambientales que se produce, por ello es recomendable controlar los distintos parámetros, uno de ellos, la temperatura (Arellano. 2011: p.50).

Hoy en día se puede conocer el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica (Arellano. 2011: p.50).

### **1.4.1 Fase de Hidrólisis**

Estas bacterias toman la Materia Orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos), liberando H y CO<sub>2</sub>. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo número de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos (Arellano. 2011: p.50).

La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo



tratando residuos con alto contenido de sólidos. Incluso en casos donde las fases acidogénica o metanogénica son consideradas como pasos limitantes, la hidrólisis puede afectar el conjunto del proceso (Arellano, 2011: p.50).

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso dependen de muchos factores, entre otros del pH, de la temperatura, de la concentración de biomasa, del tipo de materia orgánica particulada y del tamaño de partícula.

La sostenibilidad de esta etapa se basa en que la presencia de microorganismos anaeróbicos que consumen el oxígeno disuelto en el agua, bajan el potencial redox, la que es la base para la proliferación de más microorganismos anaeróbicos (Arellano, 2011: p.50).

#### **1.4.2 Fase de Acidificación**

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  y liberando como producto  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}_2$  (Arellano, 2011: p.50).

Esta reacción es endergónica pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que sustraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético (Varnero, 2004: p.29).

#### **1.4.3 Fase Acetogénica**

Los productos de la fase acidogénica sirven de sustrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa son endorgénicas (se necesita energía para la degradación de los productos de la acidogénesis) (Varnero, 2004: p.29).

Las bacterias de esta etapa producen necesariamente  $\text{H}_2$  y están en simbiosis constante con los organismos que producen metano. Los organismos metanogénicos pueden sobrevivir solo a altos niveles de presión parcial de  $\text{H}_2$ , si este nivel baja, el  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y acetato son producidos por bacterias acetogénicas en el caso contrario predomina la formación de ácido propiónico, butírico, valérico y etanol (entre otros) (Varnero, 2004: p.29).

#### **1.4.4 Fase Metanogénica**

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las Archeobacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre (Parkin, 2000: p.31).

La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal sustrato el ácido acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{CO}_2$ .

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor (Parkin, 2000: p.31).

#### **1.5 Equilibrio bacteriano y factores limitantes**

El comportamiento microbiológico es más complejo que estas tres etapas; dentro de un biodigestor en operación ocurren multitud de reacciones y fermentaciones simultáneas de docenas de bacterias diferentes, que trabajan en forma simbiótica y elaboran gran cantidad de productos, que a su vez son tomados por otras bacterias que transforman para otro grupo (Kumar, 2008: p.46).

Por lo anterior, con el biogás se encuentran tranzas de Hidrogeno ( $\text{H}_2$ ), Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), entre otros. Cualquier cambio brusco que ocurra dentro del biodigestor en funcionamiento destruirá el delicado equilibrio establecido en el sistema y el proceso se detendrá o desviará la reacción a otro lado (Kumar, 2008: p.46).

Casi un 75% del gas metano producido durante el proceso, proviene del ácido acético formado en los pasos intermedios. El Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), producido por algunas bacterias se recombina en forma casi instantánea con Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), formando metano ( $\text{CH}_4$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), en un proceso llamado Bio metanización (Kumar, 2008: p.46).

Varios factores alteran el proceso de fermentación anaeróbica los cuales se detallarán a continuación:

### **1.5.1 Temperatura**

La velocidad de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados, que a su vez dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos dando lugar a mayores producciones de biogás (Kumar, 2008: p.46).

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la digestión anaeróbica, existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos que digieren el material orgánico (Kumar, 2008: p.46).

### **1.5.2 pH y alcalinidad**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una solución, este indica la concentración de iones hidronios ( $H_3O^+$ ), presentes en determinadas sustancias. El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo acidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7, siendo el pH=7 la neutralidad de la disolución (donde el disolvente es agua) (Khanal, 2008: p.44).

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica, presentan niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad entre los siguientes valores (Khanal, 2008: p.44).

- Fermentativos: entre 7,2 y 7,4.
- Acetogénicos: entre 7,0 y 7,2.
- Metanogénicos: entre 6,5 y 7,5.

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás, sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6, es que el biogás generado es muy pobre en metano y por tanto, tiene menores cualidades energéticas (Steinhauser. 2008: p.23).

### **1.5.3 Nutrientes**

Una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los procesos aeróbicos, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos. Los principales nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos son el carbono, el nitrógeno y el fósforo, y una serie de elementos minerales como S, K, Na, Ca, Mg y Fe que deben de estar presentes a nivel de trazas (Steinhauser. 2008: p.23).

Otro parámetro de importancia es la relación carbono-nitrógeno, el cual se debe mantener en adecuada proporción, con lo que se obtiene mayores rendimientos. Las principales fuentes de Nitrógeno son los residuos animales, mientras que los residuos vegetales hacen los aportes de Carbono. Se considera como relación óptima de Carbono / Nitrógeno los comprendidos entre 23 a 31/1 (Steinhauser. 2008: p.23).

### **1.5.4 Agitación**

La experiencia demuestra que una adecuada agitación de la mezcla existente al interior del digestor es esencial. En sintonía, que menciona que una correcta agitación persigue los siguientes objetivos: (Steinhauser. 2008: p.23).

- Poner en contacto el sustrato fresco con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos metanogénicos al favorecer la salida de los gases.
- Proporcionar una densidad uniforme de población bacteriana.
- Prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor.
- Prevenir la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del reactor y la formación de caminos preferenciales
- Eliminar la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.

El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático. La velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar una correcta homogeneización, pero sin romper los agregados bacterianos (Steinhauser. 2008: p.23).

### **1.5.5 Presión de Operación**

Otro factor limitante del proceso anaeróbico es el de la presión total de operación. Cuando la

presión hidrostática en que están sometidas las bacterias es superior a 4, su velocidad de trabajo se reduce en un 50 %. Con el aumento de presión disminuye el rendimiento, pero no llega a detenerse el proceso (Cai, 2004: p.15).

En biodigestores sencillos, cuyo ancho es menor que la profundidad y sin más efecto de agitación que el burbujeo del gas producido, cuando sube a la superficie, no se debe sobrepasar una profundidad efectiva del líquido de 3,6 m. Si por algún motivo se ha de sobrepasar esta profundidad (Cai, 2004: p.15).

#### ***1.5.6 Destrucción Patógena***

Aunque el nivel de destrucción patógena varía de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los organismos patógenos no sobreviven al proceso de digestión anaeróbica (Cai, 2004: p.15).

Estudios anteriormente realizados por alumnos memoristas de la Universidad de Talca respecto de un biodigestor de tipo Hindú con un rango de operación mesofílico y con un sustrato proveniente de las excretas de cerdo, señalan en una de sus conclusiones lo siguiente (Cai, 2004: p.15).

Con el análisis bacteriológico se demuestra la eficacia del biodigestor para eliminar los microorganismos patógenos en el proceso de digestión anaeróbica, por lo que el efluente no representa peligro al ser aplicado en la horticultura (Cai, 2004: p.15).

#### ***1.5.7 El calor y el color***

El color de un objeto depende de lo que le sucede cuando la luz incide sobre él. Los diferentes materiales absorben algunos colores y reflejan otros; los colores que se ven son los colores reflejados por el objeto (Cai, 2004: p.15).

Por ejemplo, una hoja de color verde absorbe todos los colores excepto el color verde (que es el color que se ve), y una superficie con pigmentos negros absorberá todos los colores del espectro, es por esta razón que objetos pintados de negro absorberán mayor radiación solar que uno blanco (Cai, 2004: p.15).

La pigmentación negra se ve así porque no devuelve o refleja ninguna luz, la luz que recibe es absorbida por el objeto pigmentado que de esa manera "atrapa" la energía aumentando su cantidad de calor, y por consecuencia su temperatura. El negro opaco es profundamente usado en los

captadores de energía solar (Cai, 2004: p.15).

## **1.6 Excretas porcinas**

### ***1.6.1 Qué son las excretas***

Para intentar una mejora en el manejo y utilización de las excretas es necesario que se conozca con más precisión lo que son. Un modo simple de lograrlo, es sabiendo dónde, cuánto, cómo y a partir de que se origina. Hay dos formas de cómo se pueden considerar las excretas: Como desecho de la alimentación de los animales sin pensar en ningún tipo de tratamiento, o bien como materia para reciclaje (Smith y Wheeler, 2009: p.19).

### ***1.6.2 Composición de las excretas***

Esta es muy importante conocerla, ya que de esta forma se determinará el valor de la misma, tanto para usos agrícolas, pecuarios y/o industriales. De la misma forma es imprescindible conocer los factores que afectan directamente su composición, ya sea en su calidad y cantidad, las cuales a su vez se verán afectadas por el tipo de alimento, el animal mismo y el tipo de instalaciones que condicionará su manejo (Smith y Wheeler, 2009: p.19).

### ***1.6.3 Factor alimento***

- Cantidad de alimento.
- Composición del alimento (Sistema de formulación).
- Calidad del alimento (Sistema de formulación).
- Estado del alimento.

### ***1.6.4 Factor animal***

- Estado de salud animal.
- Hábitos alimenticios.
- Edad del animal.
- Actividad productiva del animal.
- Etapa fisiológica.

### 1.6.5 Manejo e instalaciones

- Condiciones bajo las cuales se produce el estiércol.
- Duración y condiciones de almacenamiento.
- Tipo de instalaciones (piso sólido; piso de rejilla, etc.).

Es tal la cantidad de variables, que parecería imposible saber cuál es la composición del estiércol; sin embargo, como el tipo de explotación que priva actualmente es intensivo, se encuentran grandes cantidades de cerdos de la misma edad, actividad productiva y sexo, que además están consumiendo los mismos tipos de alimentos, elaborados con las mismas materias primas y alimentados con los mismos programas, lo cual hace más sencilla la determinación de la composición del estiércol (Smith y Wheeler, 2009: p.19).

Típicamente se pueden encontrar cantidades variables de los diferentes nutrientes; sin embargo, existen, constantes que dan ciertas cualidades deseables al estiércol porcino (tabla 2-1) (Smith y Wheeler, 2009: p.19).

**Tabla 2-1:** Composición nutritiva de excretas de porcino, en base a materia seca.

| Concepto                           | Porcentaje |
|------------------------------------|------------|
| <b>Materia Seca</b>                | 26,43      |
| <b>Proteína Cruda</b>              | 15,87      |
| <b>Extracto Etéreo</b>             | 4,69       |
| <b>Fibra Cruda</b>                 | 17,52      |
| <b>Cenizas</b>                     | 12,05      |
| <b>Extracto Libre de Nitrógeno</b> | 49,87      |

**Fuente:** (Stanogias, 2008: p.40).

Las fracciones más importantes que se pueden encontrar en los reportes son el extracto libre de nitrógeno (ELN) y la proteína cruda (PC), debido a su posibilidad de rehúso como nutrientes para el ganado y para el suelo; también es importante la fibra cruda (FC), como nutrimento animal o como mejorador de suelo (Stanogias, 2008: p.40).

En conjunto, estos elementos hacen un gran aporte de materia orgánica a los suelos agrícolas, lo

mismo que la gran cantidad de cenizas, cuya composición en el caso del estiércol porcino resulta de gran interés para el agricultor (Stanogias, 2008: p.40).

### **1.6.6 Volumen de excretas producidas**

Es necesario considerar el volumen de materia fecal que se produce aproximadamente por animal de acuerdo a su etapa fisiológica, ya que este dato ayudará a planificar los objetivos y metas dentro de un esquema de manejo de excretas en la granja (Van. 2006: p.13).

**Tabla 3-1:** Volumen de materia excretas de acuerdo a la etapa fisiológica.

| <b>Etapa Productiva</b>                 | <b>Peso vivo, Kg</b> | <b>Volumen: lts/día</b> | <b>% MS</b> |
|---|----------------------|-------------------------|-------------|
| <b>Lechones hasta 3 semanas</b>         | 5                    | 1                       | 10          |
| <b>Lechones destetados</b>              | 12                   | 2                       | 10          |
| <b>Cerdos engorda con alimento solo</b> | 50                   | 4                       | 10          |
| <b>Cerdos engorde alimento + agua</b>   | -                    | -                       | -           |
| <b>Relación 2,5:1</b>                   | 50                   | 4                       | 10          |
| <b>Relación 4:1</b>                     | 50                   | 7                       | 6           |
| <b>Cerdos engordados con suero</b>      | 50                   | 14                      | 2           |
| <b>Verraco</b>                          | 200                  | 5                       | 10          |
| <b>Cerda destetada</b>                  | 150                  | 4,5                     | 10          |
| <b>Cerda con camada</b>                 | 150                  | 15                      | 10          |

**Fuente:** (Van. 2006: p.13).

### **1.6.7 Manejo de las excretas de granjas porcícolas**

La mayor cantidad de carne que se produce en el mundo es la de porcino con 93,5 millones de toneladas, seguida de la de ave con 68,5 y la de bovino con 59,9 Ecuador se ubica en el lugar número 38 del ámbito mundial y, es el quinto productor latinoamericano. Durante el periodo de 1990 a 2007, la producción de carne porcina en el país mostró un crecimiento anual del 6,1 % (Cabrera, 2008: p.40).

Para el año 2010 se estimó una producción de un millón de toneladas de carne, la cual representaba el 26 % del total de carne producida, permitiendo calcular la disponibilidad per cápita de carne de cerdo en aproximadamente 12 kg por año. Por tanto, la porcicultura debe considerarse como una actividad relevante en el sector pecuario nacional, ocupando después de la cría de bovinos y aves, el tercer lugar en importancia nacional (Cabrera, 2008: p.40).



En Ecuador existe un inventario porcino de 13 millones de cabezas, se sacrifican anualmente alrededor de 11 millones y se producen entre 895 mil y un millón de toneladas de carne. Las granjas porcícolas se encuentran ampliamente distribuidas en el territorio nacional, en tres estratos de producción: el tecnificado, el semitecnificado y el de traspatio (Cabrera, 2008: p.40).

El primero utiliza tecnologías empleadas en las naciones más desarrolladas en porcicultura, por lo que muchas granjas alcanzan un grado de integración vertical y horizontal, disponiendo de plantas de alimentos balanceados, con sistemas automatizados de balanceo de raciones e inclusive de plantas procesadoras de oleaginosas; sus medidas de bioseguridad son estrictas para el control de las principales enfermedades, cuentan con el control de AGROCALIDAD, y se estima que la participación de este estrato en el mercado nacional es aproximadamente del 50 % (Cabrera, 2008: p.40).

En el estrato semitecnificado, la producción es generalmente reducida y aunque en muchas ocasiones el pie de cría es similar al del sistema tecnificado, las instalaciones y las medidas zoonosanitarias no son óptimas. Este sistema emplea alimentos balanceados comerciales, con lo que aumentan los costos de producción y la industrialización se realiza en rastros municipales o privados. Este sistema aporta el 20 % al mercado doméstico (Cabrera, 2008: p.40).

El tercer estrato de producción, conocido como de traspatio, rural o de autoabastecimiento, se encuentra en todo el territorio nacional, la calidad genética de los animales es pobre aunque su rusticidad y adaptación al medio les permite producir carne con un mínimo de manejo de nutrimentos, los cuales provienen de subproductos y granos. Se estima que este sistema de producción contribuye con el 30 % de la producción nacional (Cabrera, 2008: p.40).

En la actualidad existe una fuerte tendencia para incrementar el tamaño de las operaciones lo que ha ocasionado la producción de grandes cantidades de desechos en áreas relativamente pequeñas. Por otra parte, muchas de estas grandes unidades de producción (Cabrera, 2008: p.40).

Por lo tanto, se han desarrollado algunos procesos para que estos desechos fecales en forma líquida ó sólida se utilicen como abono en tierras agrícolas. Sin embargo, este método no puede ser aplicado en lugares con alta densidad de población, debido a la disminución de tierras agrícolas disponibles en las cercanías de las granjas (Cabrera, 2008: p.40).

Los desechos fecales líquidos, constituyen un problema serio de contaminación para ríos, lagos y tierras cercanas a las granjas, la cual ha originado la necesidad de desarrollar un manejo adecuado

o un tratamiento completo de los desechos, para evitar los problemas de contaminación ambiental (Cabrera, 2008: p.40).

Para solucionar esta problemática se han ideado algunos tratamientos para reciclar el excremento y utilizarlo como ingrediente alimenticio. Estos tratamientos se clasifican en físicos, químicos y biológicos (Cabrera, 2008: p.40).

## **1.7 Tratamientos físicos**

### ***1.7.1 Separación de sólidos y líquidos***

A partir de 2000 en varias granjas porcícolas se instaló este sistema para el manejo y aprovechamiento del estiércol porcino (40 % de los sólidos totales) en la alimentación del cerdo. El equipo más utilizado, son las pantallas estacionarias o cribas y los separadores de tornillo de prensa (Castrejón, 2003: p.22).

La primera puede remover sólo parte del agua libre por gravedad y nada de la depositada por capilaridad en las mezclas de sólidos y líquidos. Estos aparatos solo son eficaces con aguas residuales extremadamente diluidas (menos del 1 % de sólidos, 99 % humedad). Si los desechos tienen que diluirse para facilitar su separación, entonces el volumen de dilución del agua empleada es tan grande que incrementa significativamente el volumen de aguas residuales (Castrejón, 2003: p.22).

En el segundo caso, se exprime toda el agua libre, más algo de la depositada por capilaridad, produciendo sólidos secos que se pueden transportar fácilmente y usarse en alimentos balanceados. Los sólidos separados tienen un contenido óptimo de humedad para que continúe el proceso de deshidratación y almacenarlos por un largo plazo, adquiriendo una estructura de partículas en forma de panal (Castrejón, 2003: p.22).

Esta estructura de los sólidos separados permite el movimiento libre del aire para el composteo y/o el secado a un bajo contenido de humedad tanto para la deshidratación o la formulación en raciones alimenticias. Con este método se recupera tanto el alimento digerido como el no digerido y se disminuye la cantidad de humedad (Castrejón, 2003: p.22).

Las ventajas que se tienen son: reducción del volumen de desechos a tratar, mayor aceptación por parte de los animales, pueden usarse como ingredientes de la ración o como fertilizante del suelo, su almacenamiento y transporte es más sencillo, y minimiza olores desagradables (Castrejón, 2003:

p.22).

Dentro de sus desventajas están: elevada pérdida de nutrientes cuando los líquidos no son utilizados, la presencia de microorganismos patógenos, se tiene una elevada inversión inicial así como un alto costo por mantenimiento del mecanismo de separación de sólidos y líquidos, y no siempre logra justificar el ahorro en el tratamiento de agua, además este equipo es recomendado para granjas con grandes instalaciones (Castrejón, 2003: p.22).

#### **1.7.2     *Deshidratación al sol***

De esta forma se obtiene un producto seco que puede almacenarse e incorporarse fácilmente en una dieta completa, la contaminación del aire es baja y el manejo que se requiere es mínimo. Las desventajas de este procedimiento son: se debe realizar en zonas áridas o semiáridas, el material puede tener patógenos y se requiere que esté pulverizado antes de ser usado. Hay una pérdida importante de nutrientes en el subproducto resultante (Henry, 2005: p.18).

#### **1.7.3     *Secado artificial***

Las altas temperaturas que se alcanzan con el tratamiento, eliminan patógenos y las heces secas son inodoras. Este procedimiento requiere el uso de equipo caro y los costos de energía, recolección y transporte de las excretas hacia los deshidratadores son elevados (Henry, 2005: p.18).

#### **1.7.4     *Tratamiento químico***

Se emplean bacterias, solventes, o enzimas. El uso de solventes se basa en que extraen la proteína presente en los residuos procesados. Este tratamiento ha sido utilizado como una alternativa de terminado o pulido de las aguas residuales, después de los tratamientos aerobios y anaerobios (Henry, 2005: p.18).

### **1.8        *Tratamientos biológicos***

#### **1.8.1     *Uso de lagunas de almacenaje y fermentación***

En este proceso la descomposición de las excretas se lleva a cabo sin la presencia de oxígeno. Las bacterias involucradas son de dos categorías, las que forman ácido o las que sintetizan metano (Hernández, 2007: p.36).

Las lagunas requieren menor superficie, ya que su volumen se cubre con la profundidad que se les dé; se producen subproductos que pueden ser aprovechados como agua de bebida o riego, medio de crecimiento de peces y algas, los sedimentos se pueden usar como fertilizantes o alimento para animales (Hernández, 2007: p.36).

Algunas desventajas que se llegan a presentar son: mal olor (compuestos sulfurosos) y dificultades para alcanzar una temperatura adecuada (30 y 60 °C), para que se realice la digestión de los desechos, ya que a menor temperatura se inhibe la acción bacteriana. Durante este proceso se forman lodos que deben ser removidos (Hernández, 2007: p.36).

En este proceso intervienen bacterias aerobias que degradan la celulosa y la lignina muy lentamente. Estos sistemas son aireados natural o mecánicamente. En el segundo caso se usan aireadores superficiales flotantes, que operan con difusores de aire que proporcionan oxígeno a lagunas de más de 6 m de profundidad (Hernández, 2007: p.36).

Este procedimiento no produce malos olores, los residuos no contienen bacterias patógenas y las aguas tratadas pueden ser fuente de nutrimentos para el crecimiento de algas y peces. La principal desventaja es que se pierde el valor fertilizante de los desechos (Hernández, 2007: p.36).

Dentro de una misma unidad se llevan a cabo tanto el proceso anaerobio como aerobio, en el fondo de la laguna se lleva a cabo el primero y en la superficie el segundo. Otros tratamientos biológicos son el uso de digestores anaeróbicos y el tratamiento de los sólidos previamente separados por medio del ensilaje o composteo (Hernández, 2007: p.36).

### **1.8.2     *Digestores anaeróbicos***

Por medio de éste se obtiene energía. Las excretas al ser digeridas de manera anaerobia forman biogás, el que puede ser recuperado, filtrado, comprimido e introducido a dispositivos de gas y ser empleado como combustible para calentamiento, enfriamiento, o ser utilizado en máquinas para poner en marcha generadores eléctricos. La principal desventaja es el alto costo de éstos últimos (Hernández, 2007: p.36).

### **1.8.3     *Ensilaje***

Es el producto resultante de la preservación anaeróbica de residuos sólidos de excretas porcinas, por la fermentación y producción de ácidos, los cuales cambian de manera significativa la

concentración de carbohidratos solubles presentes en las mezclas. Este método además, estimula el consumo, ya que la fermentación láctica altera algunas de las características sensoriales, favoreciendo un cambio en el olor y sabor de las excretas, haciéndolas más apetecibles para el ganado (Liceaga, 2004: p.25).

La finalidad es transformar una parte de los carbohidratos solubles (aproximadamente 8 %), en ácidos grasos de cadena corta, lo que favorece el consumo y posterior digestión del producto final. El proceso de fermentación se ve inducido principalmente por la concentración y fuente de azúcares fermentables, de un 6 a 8 %, como mínimo; de una temperatura de 35 a 37 °C y de una humedad del 60 % (Liceaga, 2004: p.25).

Para regular el contenido de humedad se puede mezclar las heces con granos o forrajes molidos dependiendo de la especie de animales a los cuales se les proporcionará el ensilado (Liceaga, 2004: p.25).

Los ensilados se pueden realizar en silos tipo bunker o de trinchera, de mampostería recubierta con cemento o cualquier otro tipo de material impermeable, o bien dentro de bolsas de plástico en el campo, cuando no se cuenta con las instalaciones adecuadas, lo que se conoce como plastisilo (Liceaga, 2004: p.25).

Para un buen ensilado se requiere compactar bien a los ingredientes, ya sea con palas o aplanadoras, para garantizar la anaerobiosis necesaria para la conservación de los nutrientes y elementos originales contenidos al inicio del proceso. Su principal objetivo es el preservar los nutrientes del material ensilado (Liceaga, 2004: p.25).

Una de las ventajas es que es aceptado por el animal, tiene una pérdida mínima de nutrientes, la mezcla antes de ensilar no requiere demasiados ajustes, el material puede ser fácilmente almacenado, los patógenos pueden ser eliminados aproximadamente a las tres semanas, los malos olores son controlados, si las excretas usadas son frescas se aprovecha tanto la parte líquida como sólida (Liceaga, 2004: p.25).

Las desventajas de este sistema son: se debe de adicionar forraje o grano molido, incrementa la mano de obra por la recolección, el transporte para almacenar, el uso de materiales de ensilaje, el tiempo de ensilaje, el transporte a los lugares de almacenaje y la necesidad de contar con facilidades para almacenar las excretas como depósitos verticales herméticamente sellados (Liceaga, 2004: p.25).

#### **1.8.4 Composteo**

Consiste en la descomposición aeróbica en rangos de temperatura termofílica (40 – 65 ° C); los desechos sólidos tienen microorganismos nativos no patógenos que bajo condiciones adecuadas se multiplican, crecen y descomponen el material. Para que se pueda llevar a cabo el proceso es necesario una relación C:N de 50 : 1, un pH entre 5,5 a 8, tener partículas pequeñas y bien mezcladas, además de una humedad de 50 a 60 % (Martínez, 2004: p.11).

Dentro de las principales ventajas tenemos que:

- Produce un excelente acondicionador del suelo, reduce la erosión y disminuye el uso de fertilizantes.
- Factible de mercadear.
- Reducción del peso y la masa del material, lo que facilita su manejo.
- Destrucción de patógenos.
- Eliminación de olores y moscas.

Las principales desventajas son:

- Ocupa una superficie considerable.
- Costo del equipo y mano de obra.
- Variaciones climáticas que afectan al material u obligan a invertir en cubiertas.
- Un plan para la comercialización de exceso de composta.

#### **1.8.5 Vermicomposta**

Recientemente los esfuerzos para utilizar lombrices de tierra, para estabilizar la fracción sólida de excretas de animales ha tenido mucho éxito. Para esto se utiliza la lombriz roja de California. El producto final es un material de color oscuro, con un agradable olor, es limpio, suave al tacto y su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción (Martínez, 2004: p.11).

Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las raíces. Por otra parte, impide que estos sean lavados por el agua de riego manteniéndolos por más tiempo en el suelo. Sin embargo, este proceso es más sensible y requiere especial atención (Martínez, 2004: p.11).

#### **1.8.6      *Como desecho de los animales***

Su origen está en los alimentos que se proporcionan a los animales, de los cuales el organismo toma los nutrientes necesarios para su mantenimiento, producción y reproducción; agregan elementos de la digestión no utilizados por el metabolismo, los cuales ya mezclados se expulsan fuera del mismo y dan como resultado las heces y orina (Martínez, 2004: p.11).

#### **1.8.7      *Como materia prima para procesos de reciclaje***

Tiene como origen las heces y orines recién expulsados, los cuales están constituidos por el sobrante del alimento ya digerido, pero no utilizado por el organismo, aparte se le suman desperdicios como camas, residuos de comida o material añadido de forma deliberada para aumentar la materia seca y así asegurar satisfactoriamente su manejo durante el almacenamiento y transporte, viéndose afectado por el tipo de alimento y por el organismo en el cual se ha formado (Martínez, 2004: p.11).

### **1.9            Investigaciones realizadas sobre producción de biogás con estiércol de diferentes especies**

Se diseñó un biodigestor tubular para obtener biogás a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno generados en Hacienda “Santa Mónica”, para reducir la contaminación generada por los desechos. Mediante el método experimental se recolectó la muestra de estiércol de 4 vacas por 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 6Kg al día es decir una carga diaria de 12 Kg/d dato con el que se construyó el biodigestor práctico utilizando bidón 20 L (Gordón. 2014: p.12).

Se aplicó fórmulas para proyectar los resultados experimentales a un total de 20 cabezas de ganado bovino y obtener resultados globales que fueron: carga diaria de 240 Kg/d, volumen total del digestor  $14,72\text{m}^3$ , diámetro 1,27m, longitud 11,56m. Concluyendo que la producción de gas metano es  $3,68\text{ m}^3$  diarios ayudando abastecer el 55,2 % del valor total que necesita la Hacienda para cubrir sus necesidades (Gordón. 2014: p.12).

Se recomienda a la administración de la hacienda implementar el biodigestor por ser sistema económico y amigable con el ambiente que minimiza los impactos negativos causados por los residuos orgánicos del ganado que servirán como materia prima utilizada para generar productos como biogás y bioabono, este sistema puede ser implementado en el área ganadera del país (Gordón. 2014: p.12).

Se determinó la cantidad estiércol/día generada, el método analítico, consistió en tomar muestras para ser analizados por el laboratorio LABSU, ubicado en Francisco de Orellana, el mismo que arrojó los siguientes valores; Sólidos totales 13 %, relación Carbono/Nitrógeno 11:1, los cuales permitieron mediante ecuaciones y fórmulas ingenieriles determinar parámetros de diseño (Calderón. 2015: p.21).

Para satisfacer los 2 GLP/mes que utiliza la finca “Los 5 Hermanos”, se construyó el biodigestor anaerobio con las siguientes dimensiones; Altura 2,43m, diámetro 1,75 m, volumen cúpula 0,44 m<sup>3</sup>/biogás, altura cúpula 0,35m<sup>3</sup>, radio curvatura cúpula 1.27 m, además se sobredimensiono 10% con respecto a su altura, destinado al almacenamiento (biogás), con un volumen total 5.1 m<sup>3</sup>, una producción estimada de 2,2 m<sup>3</sup> de biogás por día (Calderón. 2015: p.21).

Durante las pruebas de producción realizadas el día 14 produjo 1,1 m<sup>3</sup> biogás, el día 20, 1,65 m<sup>3</sup> biogás, en 28 días 1,94m<sup>3</sup> biogás (Calderón. 2015: p.21).

Se seleccionaron aleatoriamente siete cabezas de ganado vacuno cuyas excretas fueron utilizadas para determinar la carga diaria y caracterizaciones físico-químicas, recopilar datos meteorológicos que permiten calcular el tiempo de retención. Con todos estos parámetros se diseñó un biodigestor tubular, que fue colocado en una zanja de aislamiento térmico ubicada a 8,3 y 1,2 m de distancia entre la vivienda y el establo respectivamente (Criollo y Guzmán, 2014: p.31).

Durante los 46 días de monitoreo se controló temperatura, presión, pH, en el proceso de producción de biogás, incluyendo pruebas de olor y color de la llama. Bajo las siguientes condiciones: carga diaria 58,3Kg/día, temperatura media anual 13,5°C, tiempo de retención 39 días, dilución agua: estiércol 1:1; se diseñó un biodigestor cuyas dimensiones son: longitud 4,7 m, diámetro 1,27 m, Volumen total 6,03 m<sup>3</sup> (Criollo y Guzmán, 2014: p.31).

El aislamiento térmico permitió incrementar la temperatura interna 3 – 5 °C días fríos y 15 - 20° C días soleados. Concluyendo que la producción diaria de biogás en días cálidos es de 1,5 m<sup>3</sup> que proporcionan 1,68 horas de llama encendida, consiguiendo hervir una olla con 40 litros de agua en 48 minutos (Criollo y Guzmán, 2014: p.31).

Se diseñó un biodigestor para obtener biogás a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno generados en el Criadero Jersey Chugllin ubicado en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo, con el cual se busca reducir la contaminación generada por los desechos. Mediante el método experimental se recolectó la muestra de estiércol de 6 vacas por 5 días consecutivos



obteniendo un promedio de 7,5 Kg al día, se realizó pruebas de probeta y flama durante el proceso de generación de biogás (Lara. 2016: p.33).

Se eligió el biodigestor experimental 2 con los siguientes parámetros: tiempo de retención 38 días, carga diaria de 224 Kg/d, volumen total del digestor 11,34 m<sup>3</sup>, diámetro 1,27 m, longitud 8,95 m. Se concluyó que la producción de gas metano es 2,83 m<sup>3</sup> diarios con lo que se lograra abastecer el 45 % del valor total que necesita el Criadero para cubrir las actividades en las que emplea gas licuado de petróleo (GLP).

Se recomienda implementar el biodigestor ya que minimiza los impactos negativos causados por los residuos orgánicos del ganado siendo estos los que servirán como materia prima utilizada para generar productos como biogás y biol, además deben realizarse estudios para que este sistema sea implementado según las zonas climáticas del país (Lara. 2016: p.33).

Se diseñaron y construyeron un biodigestor, anaerobio para producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca “Isabel”, de la parroquia Taracoa, provincia de Orellana. Se estimó la cantidad de estiércol de 123 kg/día, mediante el muestreo aleatorio simple se tomaron las muestras de estiércol para realizar los análisis físicos-químicos y microbiológicos en el laboratorio LABSU (Salazar y Arias. 2016: p.42).

Se obtuvo los valores de sólidos totales 14 %, relación carbono/nitrógeno 17:1, el volumen de la cúpula superior 0,935 m<sup>3</sup> y de la cúpula inferior 0,563 m<sup>3</sup>, en consecuencia, tiene un volumen total 10,318 m<sup>3</sup>, obteniendo una producción estimada de 2,16 m<sup>3</sup> de biogás por día, un medio de energía amigable con el medio ambiente que sustituye un 98 % al GLP (Salazar y Arias. 2016: p.42).

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Localización y duración del experimento

La presente investigación se realizó en La Granja Porcina Condezán, ubicada en la parroquia Quisapincha, cantón Ambato, provincia de Tungurahua a 11,2 Km de la ciudad de Ambato.

Las condiciones meteorológicas de la zona se dan a conocer en la tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Condiciones meteorológicas de la zona.

| Parámetros            | Valores Promedios |
|-----------------------|-------------------|
| Altitud , msm         | 3520              |
| Temperatura , °C      | 15                |
| Precipitación, mm/mes | 528               |
| Humedad relativa , %  | 60                |

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica. (2018).

El tiempo de duración del proyecto fue de 90 días, en base a las siguientes actividades: la realización de los análisis de excretas, preparación y adecuación del terreno donde se desarrolló la investigación, elaboración del diseño y construcción del mismo.

#### 2.2 Unidades experimentales

Para la construcción del biodigestor con las siguientes medidas base 1 m, altura 0,75 m y lago de 12 m, se utilizaron dos bolsas de polietileno, donde ingresó el estiércol y se efectúa la fermentación anaerobia del mismo, para la base se realizó la excavación y construcción de las paredes laterales con bloque al igual que las rejillas de captación, para los ductos tanto de captación del estiércol como de distribución del gas se utilizaron tubos pvc y cemento de diferente medida y llaves de paso; en cuanto.

## **2.3 Materiales, equipos e instalaciones**

Los materiales, equipos e instalaciones que se emplearon para el desarrollo de la presente investigación se distribuyeron de la siguiente manera:

### **2.3.1 *Materiales***

- Mangas de polietileno.
- Madera.
- Tubos pvc.
- Postes.
- Soga.
- Válvulas de entrada y salida.
- Mandil.
- Botas de caucho.
- Alambre.
- Valdez.
- Letreros.
- Mascarilla.
- Retroexcavadora.
- Pala.
- Materiales de oficina.
- Azadón.

### **2.3.2 *Instalaciones***

- Exteriores de La Granja Porcina Condezan.

## **2.4 Mediciones experimentales**

Las variables experimentales a ser evaluadas en el periodo experimental fueron:

### **2.4.1 *Medidas de campo***

- Producción de estiércol.

- Capacidad de llenado.
- Tiempo de llenado.

#### **2.4.2 Laboratorio**

- Sólidos totales, mg/l.
- Materia orgánica, %.
- Carbono orgánico total, %.
- Nitrógeno total, %.
- Fosforo, %.
- Potasio.
- Manganeseo.
- Zinc.
- Cobre.
- Hierro.
- Humedad, %.
- Coliformes totales, UFC.
- Coliformes fecales, UFC.

#### **2.5 Análisis estadísticos y pruebas de significancia**

Los resultados experimentales fueron analizados mediante las estadísticas descriptivas tomando en consideración lo siguiente:

- Para la producción de estiércol y efluente, se evaluó diariamente durante 80 días. Las producciones diarias se midieron en kilogramos y litros.
- Se aplicó una estadística descriptiva (media, moda, desviación estándar, histogramas de frecuencia) para en respectivo análisis de los datos recopilados en el periodo de evaluación.
- Mientras que la determinación de las pruebas fisicoquímicas del estiércol porcino, se evaluaron de acuerdo a los protocolos establecidos en laboratorio al cual se envió una muestra representativa.
- La capacidad del biodigestor se calculó en función de su volumen y el tiempo de llenado se evaluó en días.

## **2.6 Procedimiento experimental**

### **2.6.1 Descripción del experimento**

El biodigestor quedó instalado en un punto estratégico, este punto está cerca del lugar de captación del sustrato y también cerca del punto que se beneficia con el biogás, esto tiene su sustento en que mientras más cerca quede de la fuente del sustrato mayor comodidad habrá a la hora de ser cargado, y mientras más cerca está del punto en donde se ocupará el biogás menor fue la demanda de cañería que finalmente se tradujo en una menor inversión para el equipo.

Una buena elección contempla además de lo anteriormente señalado, algunas recomendaciones como lo son:

- Nunca se debe elegir un lugar en que exista sombra, ya que la radiación solar ayuda a calentar el terreno donde se instala.
- Se debe planificar pensando en el futuro de la granja para prevenir problemas relacionados al crecimiento de la piara.
- Se debe elegir un lugar en donde no se acumule el agua en la época de lluvia, y el que no existan árboles grandes que puedan, con sus raíces llegar a la zanja y romper el polietileno o caer ramas desde él, todos estos datos sirven para una buena elección del lugar.

### **2.6.2 Cavado y preparación de la zanja**

Una vez determinado el lugar de instalación del biodigestor, se cava una zanja con un pequeño declive construidos de madera o adobe. El levantamiento de tapiales se hace sólo en el caso de ser muy difícil cavar o en donde la temperatura ambiente sea demasiado baja, ya que los tapiales tienen la función de acumuladores térmicos.

Las paredes de la fosa presentan una forma de un cuadrado, para disminuir las probabilidades de desmoronamiento y también acoplarse a la forma tubular del biodigestor.

La zanja no tiene desnivel, en caso de requerir un desnivel, éste se encontrará entre el 5 al 8 %. Para la entrada y salida en los dos extremos de la zanja, se instaló dos tubos de cemento armado fundidos a cada una de las paredes laterales de la cámara tanto de entrada como salida de tal forma que queden totalmente horizontales y centrados. Una vez construida la zanja y luego de haber

revisado que sus medidas sean las correctas para las dimensiones del biodigestor, se procedió a quitar todas las piedras y raíces que se encontraban al alrededor, para evitar que se rompa el polietileno.

### **2.6.3      *Preparación de la cama y aislación de la zanja***

La zanja una vez libre de todo objeto que pudiese romper el polietileno, fue cubierta por plástico aislante, el cual tiene dos objetivos principales, el primero es evitar el traspaso de energía térmica del biodigestor a la tierra, ya que de lo contrario será sumamente difícil subir la temperatura de trabajo del biodigestor, puesto que se está en presencia de una inercia térmica infinita que tiene una temperatura media aproximada a los 15 °C (aunque varía según la época del año) a los 80 cm de profundidad. El segundo objetivo es brindar un acolchado para el biodigestor llevando al mínimo las probabilidades de que este se rompa por causa de algún pico de la zanja.

Para la aislación se utilizó polietileno expandido, de una capa de 30 mm.

### **2.6.4      *Construcción del cuerpo del biodigestor***

Este se consideró como el momento más delicado en la construcción del biodigestor, todas las operaciones deben hacerse con mucho cuidado para evitar dañar el polietileno.

Los materiales necesarios para su construcción son:

- Rollo de polietileno seleccionado.
- 40 - 50 m de liga de cámara de camión.
- Pasa muro o flange.
- 2 tubos de hormigón sanitario de 1 m de largo y diámetro 22 cm.

Herramientas necesarias:

- Llave Stilson o llave francesa (llave ajustable).
- Sierra.
- Tijeras.

Toda la operación de construcción se ejecutó en un lugar amplio, plano, limpio y sin ningún tipo de aspereza.

### **2.6.5     *Doble capa de polietileno***

Lo primero fue cortar dos piezas de polietileno del mismo largo (del largo seleccionado en el diseño).

Lo segundo fue tomar una de las piezas e introducirla dentro de la otra, esta operación puede realizar de diferentes maneras, pero la forma más recomendable es que una persona ingrese sin zapatos dentro de una de las mangas plásticas y tire la otra de uno de sus extremos por el interior, de esta manera se obtiene una manga de doble capa de polietileno, se deben dejar las dos mangas totalmente centradas (deben coincidir los pliegues del ancho de rollo), para prevenir arrugas interiores.

### **2.6.6     *Instalación de la salida del biogás***

El siguiente paso es la construcción de la salida del biogás, se realizó después de centrar las dos mangas de plástico puesto que de saltarse esta etapa no es posible hacerlo más tarde. Se realizó un agujero en el centro de la manga (en la mitad del largo y del ancho), con un diámetro menor al del pasamuro, se recortaron dos arandelas de goma de neumático con un agujero en el medio, de la misma medida del pasamuro con el fin evitar cualquier escape de biogás.

Para hacer el agujero en la manga doble de polietileno, primero se ingresó en el interior de las dos mangas sin zapatos u otros objetos que pudieran romper las capas y con la ayuda de otra persona ubicada en l parte externa mediante el uso de las respectivas llaves se procedió a realizar un ajuste razonablemente fuerte de los implementos (cuidando que no se rueden los hilos).

### **2.6.7     *Instalación de los tubos de entrada y salida***

Una vez instalada la salida del biogás se procedió a amarrar los extremos del polietileno a los tubos de cemento armado. Ya con las tiras de ligas se procedió a hacer pliegues en forma de acordeón por uno de sus lados hasta llegar al tubo, estos pliegues tuvieron un ancho de 10 cm.

Las ligas se cortaron con un ancho de 3 cm. Cuando ya se tienen los dobleces en forma de acordeón listos, se continua con un nudo con liga a los 50 cm, contando del extremo de la manga hacia dentro, desde este punto se empieza a ir en espiral hacia el extremo de la manga, teniendo siempre bien tensa la liga para que quede sellada la unión entre el polietileno y el tubo.

Finalmente, el amarre de los tubos a la manga de polietileno, se realizó entre dos personas para que queden bien tensionadas.

#### **2.6.8 Fijación de las alturas de los tubos de entrada y salida**

Una vez ubicada la manga, se fijaron los tubos de entrada y salida. La altura de estos tubos es importante por dos razones:

- Para asegurar que no entre aire en la manga por los tubos de entrada y salida.
- Para definir la altura del líquido dentro del digestor, y por tanto, el volumen líquido del digestor.

### **2.7 Metodología de evaluación**

#### **2.7.1 Producción de estiércol**

La producción de excretas es una variable que depende básicamente del tamaño de los animales, raza, edad y estado fisiológico y sus características en materia seca. Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; siendo la unidad de expresión en litros por animal por día (l/animal/día). Es posible efectuar una estimación teórica de la producción de estiércol en función de las estadísticas de recolección y utilizando la siguiente expresión:

$$PE = PTE * P$$

Donde:

PE= Producción de estiércol (l/día)

PTE = producción de estierco en el día (l/día)

P = Población (número de animales existentes)

#### **2.7.2 Capacidad de llenado**

El volumen es una propiedad de la materia en general y se puede definir como el espacio ocupado por un cuerpo determinado. El cálculo del volumen de un cuerpo se basa en su forma geométrica, y para el caso de los contenedores del estiércol se aplica las siguientes fórmulas de acuerdo a su



figura.

Para el cálculo de la capacidad e llenado se multiplica la altura del recipiente, por su radio al cuadrado, y por el valor de pi.

### **2.7.3      *Tiempo de retención***

El tiempo de retención está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y su temperatura. Esta variable se determinará calculando el tiempo que demora en copar la capacidad del biodigestor, en horas.

### **2.7.4      *Laboratorio***

Todos los análisis se los realizó en laboratorio, y se siguieron los protocolos propios determinados pos este centro.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Cantidad diaria de estiércol que ingresa al biodigestor

La cantidad de estiércol que ingresa diariamente al biodigestor en kilogramos, se resume en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Producción de estiércol en kilogramos

| producción de estiércol |    | (kg)    |
|-------------------------|----|---------|
| Media                   |    | 152,21  |
| Mediana                 |    | 152,33  |
| Moda                    |    | 129,87  |
| Desv. Estándar          |    | 6,99    |
| Varianza                |    | 48,91   |
| Rango                   |    | 32,45   |
| Mínimo                  |    | 129,87  |
| Máximo                  |    | 162,32  |
| Suma                    |    | 6088,22 |
| Percentiles             | 25 | 148,97  |
|                         | 50 | 152,33  |
|                         | 75 | 157,19  |

**Realizado por:** Chisag, Rolando, 2019.

La producción media de estiércol por día es de 152,21 kg; con una varianza de 48,91 kg y un total de 6088,22 kg durante los 40 días de evaluación.

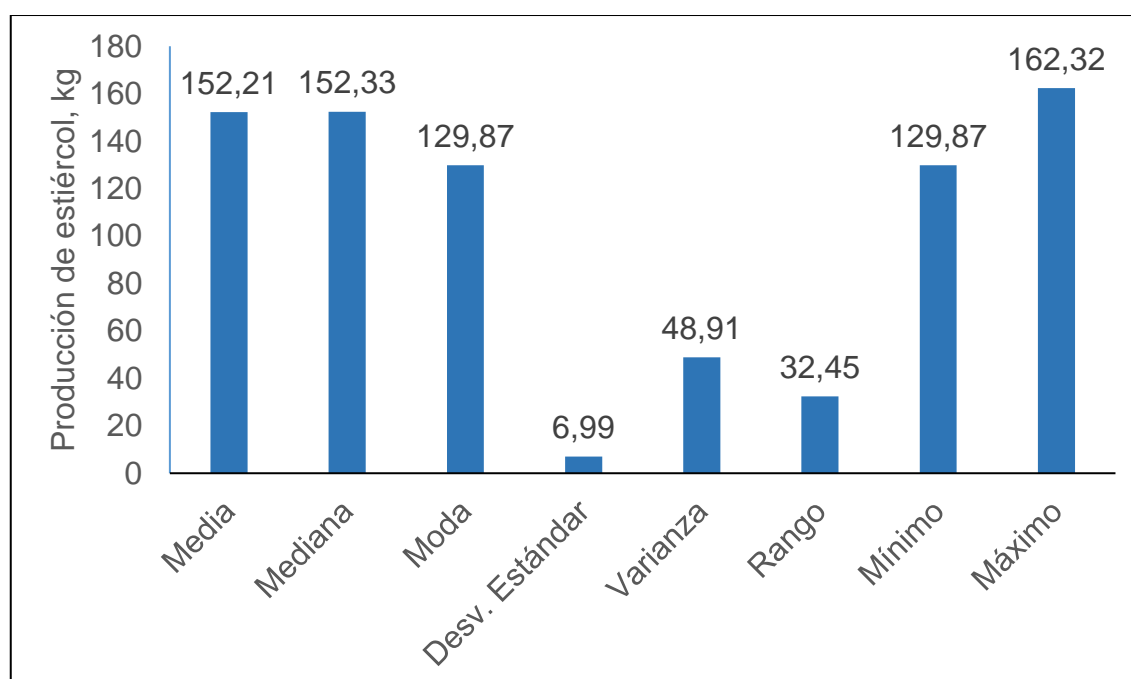
En el estado de Yucatán se producen aproximadamente 3600 toneladas de excretas diariamente, un biodigestor es una alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, en la que se combinan procesos aeróbicos y anaeróbicos, se han de obtener productos como abono agrícola (compost) y gas biológico (60 % metano, 40 % CO<sub>2</sub>) (Soria *et al.*, 2001: p.47).

En una investigación se recolectó la muestra de estiércol de 4 vacas por 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 6 kg al día es decir una carga diaria de 12 kg/d, al proyectar los resultados experimentales a un total de 20 cabezas de ganado bovino se obtuvo una carga diaria de 240 Kg/d. Criollo y Guzmán (2014: p.49), seleccionaron aleatoriamente siete cabezas de ganado

vacuno cuyas excretas fueron utilizadas para producir biogás, las cargas diarias entrantes al biodigestor fueron de 58,3 kg/día (Gordón. 2014: p.55).

Se diseñó un biodigestor para obtener biogás a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno generados en el Criadero Jersey Chugllin ubicado en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo, mediante el método experimental se recolectó la muestra de estiércol de 6 vacas por 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 7,5 Kg al día (Lara. 2016: p.56).

La producción de estiércol diaria de la Granja Porcina Condezán, se resume en el gráfico 1-3.



**Gráfico 1-3.** Producción de estiércol diaria (kg).

Realizado por: Chisag, Rolando, 2019.

La cantidad de estiércol que ingresa diariamente al biodigestor en litros, producida en la Granja Porcina Condezán, se resume en la tabla 6-3.

La producción de estiércol también se evaluó en litros, reportando una media de 169,73 l; con una varianza de 63,90 l y un total de 6789,00 l durante los 40 días de evaluación.

**Tabla 6-3.** Producción de estiércol en litros

| Producción de estiércol | (litros) |
|-------------------------|----------|
| Media                   | 169,73   |
| Mediana                 | 169,50   |

Continúa

Continúa

|                       |           |         |
|-----------------------|-----------|---------|
| <b>Moda</b>           |           | 166     |
| <b>Desv. Estándar</b> |           | 7,99    |
| <b>Varianza</b>       |           | 63,90   |
| <b>Rango</b>          |           | 37,00   |
| <b>Mínimo</b>         |           | 144,00  |
| <b>Máximo</b>         |           | 181,00  |
| <b>Suma</b>           |           | 6789,00 |
| <b>Percentiles</b>    | <b>25</b> | 166,00  |
|                       | <b>50</b> | 169,50  |
|                       | <b>75</b> | 175,75  |

**Realizado por:** Chisag, Rolando, 2019.

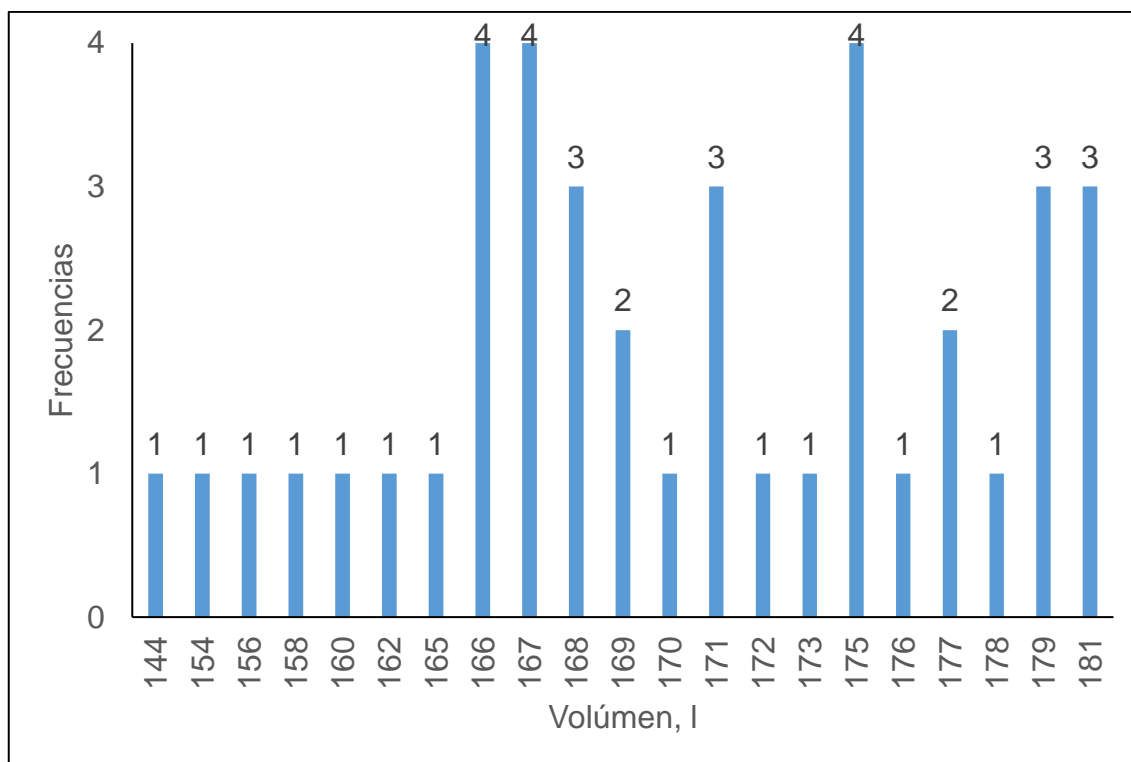
Las excretas contienen nutrimentos que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos (McCaskey, 1990: p.19).

Una práctica para reducir los niveles de los coliformes fecales, es utilizar probióticos, de debido a que estos llevan a cabo su acción produciendo compuestos antimicrobianos, que reducen el pH intestinal, compitiendo por los nutrientes o los lugares de adhesión en el epitelio intestinal con los microorganismos patógenos como es el caso de los coliformes fecales que normalmente se hallan en el intestino del cerdo (Gaibor, 2012: p.41).

Ayudan al metabolismo enzimático microbiano y estimulando su sistema inmunitario, lo que produce un efecto benéfico en el descenso de los coliformes totales, y al mismo tiempo evitando la presencia de diarreas provocadas por incremento de la carga bacteriana patógena (Gaibor, 2012: p.41).

Se diseñó y construyó un biodigestor, anaerobio para producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca “Isabel”, de la parroquia Taracoa, provincia de Orellana. Se estimó la cantidad de estiércol de 123 kg/día, y con un volumen total 10,318 m<sup>3</sup>, obteniendo una producción estimada de 2,16 m<sup>3</sup> de biogás por día (Salazar y Arias. 2016: p.42).

La producción de estiércol diaria de la Granja Porcina Condezán, se resume en el gráfico 2-3.



**Gráfico 2-3.** Producción de estiércol diaria (l).

Realizado por: Chisag, Rolando, 2019.

### 3.2 Fluente producido del biodigestor

La cantidad de efluente que produce la granja diariamente, se resume en el cuadro 7.

La cantidad de efluentes que se producen diariamente en el biodigestor se evaluó en litros, la media de producción de efluentes fue de 508,08 l; con una varianza de 62,53 l y un total de 20323,00 l durante los 40 días de evaluación.

No es recomendable utilizar un solo tipo de sustrato en los biodigestores, más bien se debería buscar combinar materiales ricos en nitrógeno con materiales abundantes en carbono para obtener un buen balance de nutrientes que promueva el adecuado crecimiento de los microorganismos que degradan la materia orgánica dentro del biodigestor y, de esta manera, aumentar la productividad y calidad del efluente producido (Guevara. 1996: p.23).

Los niveles de efluentes fueron de 2360 litros producidos de un biodigestor que previamente fue llenado con estiércol de porcino, este mismo autor señala una proyección de producción de efluentes de 4982 kg al año; en otra investigación Calderón (2015: p.51), reportó un volumen de 11040 litros de efluentes generados a partir de excretas de ganado vacuno (Rochina. 2018: p.56).

Durante la fermentación se pierde un porcentaje de sólidos totales de las excretas, lo cual reduce la cantidad de efluentes que se extraen de los biodigestores, es así que, reportó una cantidad aproximada de 326,36 kg al día de efluentes a partir de las excretas de una ganadería de leche (Paca. 2013: p.71).

Se reportó una cantidad de 125 kg/día de efluentes obtenidos a partir de 156,25 kg de excretas de ganado vacuno, la cantidad restante se pierde en la producción de biogás, la pérdida de sólidos totales que ingresan al biodigestor está entre un 5 al 30 % (Wayllas. 2010: p.63).

Al implementar un biodigestor que se llenó con excretas de ganado vacuno Torres (2016) reportó una producción de 51100 litros de efluentes cada mes, la cantidad de excretas que ingresaron al biodigestor fueron 54800 litros, la pérdida de sólidos se debe a que se produjo 0,66 m<sup>3</sup> de biogás (Soria *et al.*, 2001: p.47).

Los efluentes producidos por el biodigestor también se conocen como biol y como bioabono, se diferencia de las excretas que se utilizan para llenar el biodigestor debido a que no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae a moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en cantidades determinadas. Estos efluentes pueden deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente (Soria *et al.*, 2001: p.47).

Sin embargo, produce pérdidas por volatilización hasta 60 %, sobre todo de N. Un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg de nitrógeno por hectárea. Los efluentes producidos no dejan residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y, puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos (Soria *et al.*, 2001: p.47).

**Tabla 7-3:** Efluente producido

| Efluente producido | (litros) |
|--------------------|----------|
| Media              | 508,08   |
| Mediana            | 508,50   |
| Moda               | 505,00   |
| Desv. típ.         | 7,91     |
| Varianza           | 62,53    |
| Rango              | 36,00    |
| Mínimo             | 483,00   |
| Máximo             | 519,00   |
| Suma               | 20323,00 |

continúa

continúa

|                    |           |        |
|--------------------|-----------|--------|
| <b>Percentiles</b> | <b>25</b> | 504,25 |
|                    | <b>50</b> | 508,50 |
|                    | <b>75</b> | 513,75 |

**Realizado por:** Chisag, Rolando, 2019.

### 3.3 Capacidad total y tiempo de llenado del biodigestor

La cantidad de efluente que produce el biodigestor diariamente, se resume en la tabla 8-3. La capacidad de llenado del biodigestor se calculó de acuerdo a las medidas de su construcción, es así que tenemos un volumen de llenado de 10,8 m<sup>3</sup> y una capacidad total de 10800 litros.

**Tabla 8-3:** Capacidad de llenado del biodigestor

| <b>Dimensiones biodigestor</b> | <b>medidas</b> | <b>unidades</b> |
|--------------------------------|----------------|-----------------|
| <b>Largo</b>                   | 12,00          | m               |
| <b>Ancho</b>                   | 1,00           | m               |
| <b>Alto</b>                    | 0,90           | m               |
| <b>volumen</b>                 | 10,8           | m <sup>3</sup>  |
| <b>capacidad</b>               | 10800          | l               |

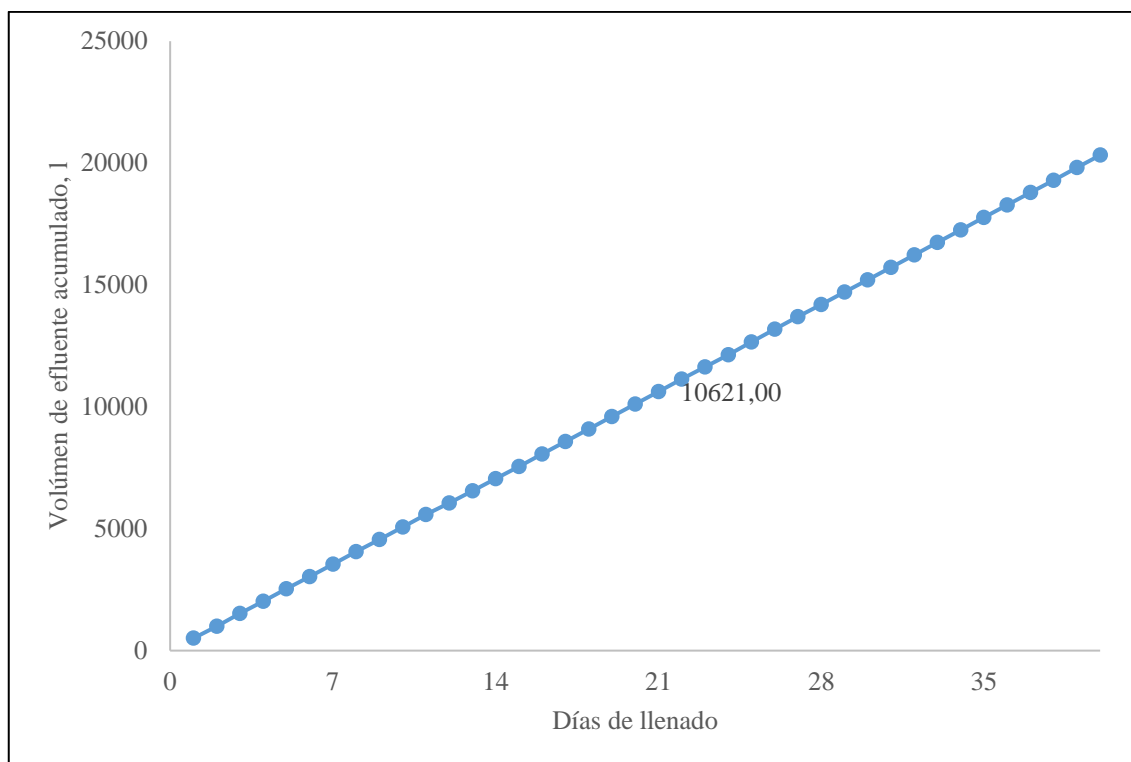
**Realizado por:** Chisag, Rolando, 2019.

De acuerdo a la producción de litros de efluentes producidos, tenemos que a los 21 días el biodigestor se llena por completo, en el gráfico 3-3 podemos observar de mejor manera el tiempo de llenado del biodigestor.

La capacidad de llenado varía de acuerdo factores como el tamaño del biodigestor y de la disponibilidad de las excretas, reportan apenas cuatro días de tiempo de llenado en una granja con 1114135 animales (Soria *et al.*, 2001: p.47).

De acuerdo a Arrieta (2016: p.41) el caudal del afluente evaluado (mezcla de estiércol y agua) cuando se usa estiércol de cerdo fue de (156 litros) y de vaca (180 litros), este volumen total del afluente se logra con llenados parciales de menor volumen, en tanto que un experimento de campo (Gordón. 2014: p.55)

La capacidad total de llenado del biodigestor fue de 147200 litros, del biodigestor de Calderón (2015: p.63) con ganado bovino fue de 5100 litros (gráfico 3-3), en el biodigestor construido por Criollo y Guzmán (2014: p.70) la capacidad total fue 60300 litros, llenados a partir de excretas de ganado bovino otra investigación reportó una capacidad total de 113400 litros del biodigestor llenado a partir de excretas de ganado Jersey (Lara. 2016: p.56).



**Gráfico 3-3.** Capacidad de llenado del biodigestor

Realizado por: Chisag, Rolando, 2019.

### 3.4 Caracterización de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del estiércol porcino

Los diferentes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos evaluados en el estiércol porcino proveniente de la granja se muestran en la tabla 9-3.

De acuerdo al análisis bacteriológico las heces porcinas presentan niveles de coliformes fecales mayores a  $1 \times 10^6$ , el nivel de coliformes totales también son superiores a  $1 \times 10^6$ . En otras investigaciones, se reportan niveles de  $9 \times 10^6$  de coliformes totales presentes en el estiércol fresco, estudios previos han demostrado que cuando la lluvia genera escurrimiento en áreas ganaderas (Reyes. 2015: p.56).

Se pueden transferir altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal a las aguas superficiales. Se reportó niveles de 680000 UFC, al evaluar el desempeño sanitario al aplicar jengibre en la alimentación de cerdos, en la etapa post destete (Soria *et al.*, 2001: p.47).

En cuanto a los parámetros físico – químicos tenemos un reporte de 1,05 % de nitrógeno total, 0,88 % de fósforo, 5684,4 mg/kg de potasio; 36,98 mg/kg de manganeso; 789,97 mg/kg de hierro



y una humedad del 21,04 %. Al comparar estos valores con otras investigaciones tenemos que, al producir bio fertilizantes mediante biodigestión de excretas de cerdo reportaron 0,10 % de nitrógeno; 179 mg/l de fósforo; 236,9 mg/l de potasio; 2,64 mg/l de hierro, entre otros (Soria *et al.*, 2001: p.47).

En la literatura disponible se reportó coliformes totales al inicio de la etapa de crecimiento y engorde, en cerdos Landrace - York Shire de  $3,24 \times 10^4$  UFC/g y  $2,27 \times 10^4$  UFC/g de coliformes fecales (Gaibor. 2012: p.33).

Los patógenos asociados a las deyecciones ganaderas son muy variados e incluyen bacterias, protozoos, virus y algunos metazoarios, algunos de los cuales también pueden ocasionar enfermedades en humanos. Por tales motivos para estimar la contaminación se utilizan microorganismos indicadores de presencia de heces, dentro de los cuales los más comúnmente utilizados son las bacterias del grupo coliformes (Kraemer *et al.*, 2014: p.14).

**Tabla 9-3:** Caracterización de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del estiércol porcino

| Parámetros             | Unidad | Resultado        |
|------------------------|--------|------------------|
| Sólidos totales        | %      | 78,96            |
| Materia orgánica       | %      | 74,81            |
| Carbono Orgánico total | %      | 43,4             |
| Nitrógeno total        | %      | 1,05             |
| Fósforo total          | %      | 0,88             |
| Coliformes totales     | UFC/g  | $>1 \times 10^6$ |
| Coliformes fecales     | UFC/g  | $>1 \times 10^6$ |
| Potasio                | mg/kg  | 5684,6           |
| Manganeso              | mg/kg  | 36,98            |
| Zinc                   | mg/kg  | <50              |
| Cobre                  | mg/kg  | <10              |
| Hierro                 | mg/kg  | 789,97           |
| Humedad                | %      | 21,04            |

Realizado por: Chisag, Rolando, 2019.

### 3.5 Análisis económico

El costo total de la construcción del biodigestor a partir de excretas de cerdos es de 875,40 dólares; que incluyen los gastos por construcción y mano de obra, los costos de cada uno se detallan en la tabla 10-3.

**Tabla 10-3:** Costos de la construcción del biodigestor

| Elementos   | cantidad | unidad      | precio unitario | total |
|---|----------|-------------|-----------------|-------|
| alquiler de retro excavadora                      | 2        | horas       | 25              | 50    |
| mano de obra                                      | 14       | días        | 20              | 280   |
| tabla de monte                                    | 10       | unidades    | 2,8             | 28    |
| material pétreo                                   | 50       | carretillas | 3               | 150   |
| bloque de 40 x 20 cm                              | 250      | unidades    | 0,2             | 50    |
| cemento   | 15       | sacos       | 9               | 135   |
| tubo de gres o cemento                            | 2        | unidades    | 8               | 16    |
| aceite de desecho                                 | 1        | galón       | 0,5             | 0,5   |
| codo PVC de 90°                                   | 1        | unidades    |                 |       |
| codo PVC de 45°                                   | 1        | unidades    |                 |       |
| tubo de PVC                                       | 12       | unidades    | 6               | 72    |
| membrana de polietileno de desecho de invernadero | 24       | metro       | 1,2             | 28,8  |
| membrana de polietileno tubular                   | 24       | metro       | 1,4             | 33,6  |
| tubo de neumático de desecho                      | 1        | unidades    | 1               | 1     |
| conexión para tanque PVC                          | 1        | unidades    | 2,5             | 2,5   |
| tubo corrugado flexible PVC                       | 2        | metro       | 1               | 2     |
| llave de paso PVC                                 | 1        | unidades    | 3               | 3     |
| t de PVC  | 1        | unidades    | 1,25            | 1,25  |
| envase de agua de desecho                         | 1        | unidades    | 0,5             | 0,5   |
| esponjilla de aluminio                            | 3        | unidades    | 0,75            | 2,25  |
| tubo PVC 1/2"                                     | 3        | unidades    | 3               | 9     |
| pegamento para PVC envase de 750 g                | 1        | unidades    | 5               | 5     |
| clavos de 1"                                      | 1        | libra       | 1               | 1     |
| clavos de 1/2"                                    | 1        | libra       | 1               | 1     |
| alambra galvanizado                               | 3        | libra       | 1               | 3     |
| <b>TOTAL</b>                                      |          |             |                 | 875,4 |

Realizado por: Chisag, Rolando, 2019.

## CONCLUSIONES

Al analizar los resultados obtenidos en la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La producción media de estiércol que se genera en la Granja Porcina Condezan por día es de 152,21 kg; con una varianza de 48,91 kg y un total de 6088,22 kg durante los 40 días de evaluación.
- Acorde al análisis bacteriológico las heces porcinas presentan niveles de coliformes fecales mayores a 1000000, coliformes totales también superiores a 1000000. En cuanto a los parámetros físico – químicos se reportan 1,05 % de nitrógeno total, 0,88 % de fósforo, 5684,4 mg/kg de potasio; 36,98 mg/kg de manganeso; 789,97 mg/kg de hierro y una humedad del 21,04 %.
- La capacidad del biodigestor es de 10800 litros y se demora 21 días en llenarse completamente.
- El costo total de la construcción del biodigestor a partir de excretas de cerdos es de 875,40 dólares; que incluyen los gastos por construcción y mano de obra.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar la producción de biogás que se genera, ya que este gas tiene varios usos potenciales: para producir calor, como combustible para vehículos en el transporte y en maquinarias agrícolas, en motores o turbinas para generar electricidad, purificado para introducirlo en redes de gas natural, o como material base para la síntesis de metanol.
- Determinar la duración de la etapa termofílica y mesofílica, midiendo la temperatura a la cual se encuentra el biogás diariamente para determinar la presencia de bacterias aerobias y anaerobias.
- Analizar los parámetros físico químicos y microbiológicos del efluente del biodigestor, para poder utilizarlos como abono orgánico en los pastizales o cultivos, ya que está comprobado que su uso aumenta la productividad de los cultivos.
- Utilizar el efluente del biodigestor en los diferentes cultivos ya que actúa como repelente contra insectos - plagas de los cultivos, también se puede utilizar para el cultivo de peces, al fertilizar los estanques para producir algas y fitoplancton del que se alimentan los peces.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ABAD, S., et al.** Diseño y construcción de un biodigestor para producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la Finca Isabel de la Parroquia Taracoa, Provincia de Orellana (Trabajo de titulación) (Ingeniería en biotecnología ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas Riobamba-Ecuador 2016. pp. 13 – 48.

**ANDI, T., & FELIBERTO, J.** Diseño de un biodigestor para la producción de biol a partir de excretas de ganado vacuno generado en la Finca “La Envidia” parroquia La Belleza, cantón Francisco de Orellana, Coca (Tesis de Grado) (Ingeniería en biotecnología ambiental), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 20 - 28.

**APARCANA, S., & JANSEN, A. (2008).** Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso “Fermentación Anaeróbica” para producción de Biogás. Germán ProfEC-PerúSAC. Recuperado de:  
[http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas\\_ntz.pdf](http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf)

**ARELLANO, J. (2011).** Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Recuperado de:  
<http://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/145136>

**CABRERA, M. (2008)** Ácidos grasos de cadena corta, macro y microminerales en ensilados de excretas porcinas (fracción sólida) con caña de azúcar picada. Recuperado de:  
<https://es.scribd.com/document/364886624/Porc-i-Cultura>

**CAI, M. (2004).** Enhanced biological production from sewage sludge with alkaline pretreatment. Environ. Sci. Technol. 38. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0349204>

**CALDERÓN PUENTE, C. V.** Diseño de un biodigestor tubular para obtener biogas a partir de residuos orgánicos del ganado vacuno generados en la Hacienda “Santa Mónica” Guamote (Tesis de Grado) (Ingeniería en Biotecnología Ambiental) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2015. pp. 19 – 48.

**CASTREJÓN, P.** Algunos estudios sobre el reciclaje de excretas en la alimentación de bovinos. Memorias del curso internacional avanzado en nutrición de rumiantes. Colegio de Posgraduados. 2003. pp. 4 - 46. [Consulta: 2019-02-20]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1574/1/Tesis%20Lic%20Zoot%20Avalos%20Cambranes.pdf>

**CHUNGANDRO, N., & MANITO CAHUATILJO, G.** Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas. [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería mecánica) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito-Ecuador: 2010. pp. 1-8. [Consulta: 2019-02-15]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf>

**CLARK, C. (2005).** Hog waste disposal by lagooning. Recuperado de: <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0013874>

**CRIOLLO QUIZHPI, E. C; et al.** Elaboración de un Biodigestor piloto tubular para producción de Biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en una vivienda de la comunidad de Tembo [En línea] (Tesis de Grado) (Ingeniería en Biotecnología Ambiental) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador 2014. pp. 20 - 28. [Consulta: 2019-01-11] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3398/1/236T0092.pdf>

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), (2000).** Recycling of swine wastes for feeding gilts. Recuperado de: [http://www.academia.edu/23rd\\_International\\_Pig\\_Veterinary\\_Society\\_IPVS...](http://www.academia.edu/23rd_International_Pig_Veterinary_Society_IPVS...)

**GAIBOR ESPINOZA, C.** Comparación de la Respuesta Biológica de un Probiótico comercial VS un Antibiótico comercial en la Etapa Crecimiento-Engorde en Porcinos (Tesis de Grado) (Ingeniería Zootécnica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Carrera de Ingeniería Zootécnica. Riobamba-Ecuador 2012. pp. 21 – 28.

**GORDÓN ZULETA, J. E; et al.** Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la finca “Los 5 Hermanos” de la parroquia el Dorado [En línea] (Tesis de Grado) (Ingeniería en Biotecnología Ambiental) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador 2014. pp.

21 - 28. [Consulta: 2019-01-15]. Disponible en:  
<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3400/1/236T0094%20.pdf>

**GUEVARA, A. (1996).** Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Recuperado de:  
<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&basR=EPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=51547&indexSearch=ID>

**GUILCAPI, L., & FABRICIO, M.** Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el Criadero "Jersey Chugllin" [En línea] (Tesis de Grado) (Ingeniería en Biotecnología Ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador 2016. pp. 11 - 28. [Consulta: 2019-01-15]. Disponible en:  
<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/6261/1/236T0242.pdf>

**HASHIMOTO, A; et al. (2009),** Improvising sustainable energy in mexico. Recuperado de:  
<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/62475/ME450%20Winter2009%20Final%20Report%20-%20Project%2022%20-%20Biodigester%20Mixing%20System.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**HAZEN, T. (2014).** Functional and basic requirements of swine housing. Agriculture Engineering, Recuperado de: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4684-1443-1\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4684-1443-1_12)

**HENRY, D; et al. (2005).** The isolation of salmonellas from piggery waste water after orthodox pondage treatment. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1751-0813.1995.tb03500.x#accessDenialLayout>

**HERNÁNDEZ, C. (2007).** Determinación de bacterias patógenas en ensilados de excretas porcinas con caña de azúcar. Recuperado de: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=MX1998000465>

**ÑIGUEZ, C.** Fermentación de estiércol de cerdo para la obtención de un alimento para rumiantes. [En línea] (Tesis de Grado) (Doctorado) Instituto de Investigaciones Biomédicas. U. N. A. M. México D. F. pp. 21 - 28. [Consulta: 2019-02-15]. Disponible en:  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/1574/1/Tesis%20Lic%20Zoot%20Avalos%20Cambranes.pdf>

**KHANAL, K. (2008)** Environmental Factors. En: Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. S.K Khanal. Recuperado de: <https://www.wiley.com/enus/Anaerobic+Biotechnology+for+Bioenergy+Production%3A+Principles+and+Applications-p-9780813823461>

**KRAEMER, F; et al.** “Estimación de escenarios de contaminación por coliformes fecales en una microcuenca de la Pampa Ondulada de Argentina mediante el empleo de un modelo predictivo”. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* [En línea], 2014, (Argentina) vol,46 (2) ,pp. 21-96. [Consulta: 2019-02-15]. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/34458>

**KUMAR S., (2008).** Anaerobic reactor configurations for bioenergy production. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780813804545#page=103>

**LICEAGA, M.** Manejo de excretas en granjas porcinas: Estudio recapitulativo. [En línea] (Trabajo de titulación) (Médico veterinario y zootecnista), Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ciudad de México 2004. pp. 34-56 [Consulta: 2019-02-15]. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UAA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=006780>

**MARTÍNEZ G. (2001).** Alternativas para el tratamiento de las excretas en granjas porcinas. Recuperado de: [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3684/172\\_Ensilado\\_cerdaza.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3684/172_Ensilado_cerdaza.pdf?sequence=1)

**MCCASKEY, A.T.** Microbiological and chemical pollution potential of swine waste. pp. 12-32. In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos. 1990. pp. 21 - 28. [Consulta: 2019-02-15].

**MONAR, U. & MARTÍNEZ, E.** Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luis de las Mercedes del Cantón las Naves de la Provincia de Bolívar. [En línea] (Tesis de Grado), (Ingeniero Mecánico), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil-Ecuador. 2013. pp. 47 - 58. [Consulta: 2019-02-15]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31753/D-65882.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>



**PARKIN, G.** Response of Methane Fermentation to Continuous Addition of Selected Industrial Toxicants. Proceedings of 37th Purdue IndustrialWaste Conference, West Lafayette, Indiana. 2002. pp. 17 - 28. [Consulta: 2019-02-15].

**REYES, K.** Evaluación de desempeño sanitario al aplicar Zingibir officinale (Jengibre) en la alimentación de cerdos york landrace, en la etapa post-destete-acabado (Tesis de Grado) (Ingeniera zootecnista), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica, Riobamba-Ecuador, 2015. pp. 21 - 28.

**ROBLES, A.** Treatment and recycling of swine waste. In: International Pig Veterinary Society Congress. Laussane. 2000. pp. 51 - 128. [Consulta: 2019-02-15].

**SMITH, L. & WHEELER, W.** Nutritional and economical value of animal excreta. Journal of Animal Science. 2009. pp. 27 - 48. [Consulta: 2019-02-15].

**SORIA FREGOSO, M. D. J., et al.** “*Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo*”. Terra Latinoamericana, [En línea] 2001, Mexico 19(4). pp. 21 - 28. [Consulta: 2019-02-15]. Disponible en: <https://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art353-362.pdf>

**STANOGLIAS, G.** Digestibility by cattle of diets containing dried pig faeces. Animal Feed Science and Technology. 2008. pp. 11 - 33. [Consulta: 2019-02-15].

**STEINHAUSER, A.** Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim. 2008. pp. 21 - 28. [Consulta: 2019-02-15].

**VAN, D; & PRINCE, T.** Digestibility and utilization of energy and protein in screened swine waste solids by gestating gilts. Journal of Animal Science. 1986. pp. 21 - 28. [Consulta: 2019-02-15].

**VARNERO, M.** Evaluación de lodo fresco y compostado como materia prima para la elaboración de sustrato, Actas del Simposio de las Ciencias del Suelo “Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas Agroforestales”. Temuco – Chile. 2004. pp. 60 - 62. [Consulta: 2019-02-30]. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=3405433&pid=S0718-0764201100050000700007&lng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=3405433&pid=S0718-0764201100050000700007&lng=es)

